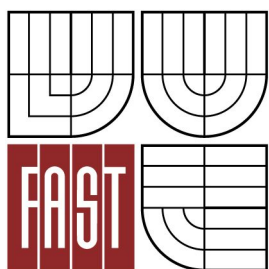




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ  
ÚSTAV STAVEBNÍHO ZKUŠEBNICTVÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING  
INSTITUTE OF BUILDING TESTING

# VYUŽITÍ ZATĚŽOVACÍCH ZKOUŠEK PŘI NÁVRHU A PŘÍPADNÉ REALIZACI SANACÍ BETONOVÝCH KONSTRUKCÍ

USE OF LOAD TESTS IN THE DESIGN AND POSSIBLE REALIZATION OF REHABILITATION  
OF CONCRETE STRUCTURES

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE  
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

DAVID REGENT

VEDOUCÍ PRÁCE  
SUPERVISOR

Ing. PETR ŽÍTT

BRNO 2016



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

<b>Studijní program</b>	B3607 Stavební inženýrství
<b>Typ studijního programu</b>	Bakalářský studijní program s prezenční formou studia
<b>Studijní obor</b>	3647R013 Konstrukce a dopravní stavby
<b>Pracoviště</b>	Ústav stavebního zkušebnictví

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

<b>Student</b>	David Regent
<b>Název</b>	Využití zatěžovacích zkoušek při návrhu a případné realizaci sanací betonových konstrukcí
<b>Vedoucí bakalářské práce</b>	Ing. Petr Žítt
<b>Datum zadání bakalářské práce</b>	30. 11. 2015
<b>Datum odevzdání bakalářské práce</b>	27. 5. 2016

V Brně dne 30. 11. 2015

.....  
prof. Ing. Leonard Hobst, CSc.  
Vedoucí ústavu

.....  
prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA  
Děkan Fakulty stavební VUT

## Podklady a literatura

- [1] ČSN 73 2030 Zatěžovací zkoušky stavebních konstrukcí
- [2] ČSN 73 6209 Zatěžovací zkoušky mostů
- [3] ČSN 731201-86 Navrhování betonových konstrukcí
- [4] EN 1992-1-1(eurocód 2)-část 1 Navrhování betonových konstrukcí
- [5] ČSN ISO 13822 Zásady navrhování konstrukcí – hodnocení existujících konstrukcí
- [6] související ČSN, EN, ISO
- [7] Schmid, P., kol, Základy zkušebnictví, FAST VUT v Brně, 2000

## Zásady pro vypracování

Cílem bakalářské práce je popsat možné způsoby provádění zatěžovacích zkoušek stavebních konstrukcí (popř. mostů) ze železobetonu. V rámci práce bude provedena teoretická část obsahující postup provádění v souladu s normovými předpisy. Možnosti měření požadovaných veličin včetně popisu používaných přístrojů. Návrh zatěžovací zkoušky před sanací objektu a návrh kontrolní zatěžovací zkoušky po provedené sanaci.

## Struktura bakalářské práce

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část VŠKP zpracovaná podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (povinná součást VŠKP).
2. Přílohy textové části VŠKP zpracované podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (nepovinná součást VŠKP v případě, že přílohy nejsou součástí textové části VŠKP, ale textovou část doplňují).

.....

Ing. Petr Žítt  
Vedoucí bakalářské práce

## **ABSTRAKT**

Bakalářská práce v rešeršní části popisuje základní informace o diagnostice a zatěžovacích zkouškách konstrukcí a mostů. Předkládá obecné postupy provádění zatěžování konstrukcí, včetně jejich měření. Uvádí se zde i popis měřících přístrojů k měření potřebných veličin. Dále jsou zde uvedeny typy zatěžovacích zkoušek, obecné zatěžovací zkoušky vybrané konstrukce, zatěžovací zkoušky v průběhu sanačních prací a zatěžovací zkouška po provedení sanačních prací.

## **ABSTRACT**

Bachelor's thesis in the search section describes the basic information about diagnostics and load tests of constructions and bridges. Presents the general process of loading structures, including their measurements. It shows the description and measuring instruments for measuring important quantity. There are the types of load tests, load test selected general construction, load tests during the reconstruction works and load test after reconstruction works.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

Zatěžovací zkouška, konstrukce, zatížení, měření, mostní konstrukce, zatěžování

## **KEYWORDS**

Load tests, construction, load, measurement, bridge construction, loading

## BIBLIOGRAFICKÁ CITACE VŠKP

David Regent *Využití zatěžovacích zkoušek při návrhu a případné realizaci sanací betonových konstrukcí*. Brno, 2016. 79 s., 0 s. příl. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav stavebního zkušebnictví. Vedoucí práce Ing. Petr Žitt.

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci zpracoval samostatně, a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 19.4.2016

.....  
podpis autora  
David Regent

## PODĚKOVÁNÍ

Na tomto místě bych rád poděkoval všem, kteří mi věnovali čas a zkušenosti, abych mohl zpracovat bakalářskou práci. Za účinnou pomoc, cenné rady a připomínky při zpracování této práce tímto děkuji především vedoucímu práce panu Ing. Petru ŽÍTTOVI.

Rád bych poděkoval i svým rodičům a blízkým za podporu a pochopení.

# **OBSAH**

<b>1</b>	<b>ÚVOD</b>	<b>11</b>
<b>2</b>	<b>ZÁKLADY DIAGNOSTIKY KONSTRUKCÍ</b>	<b>12</b>
2.1	Terminologie a definice	12
2.2	Požadavky na stavební objekty	13
2.3	Obecné požadavky na průzkum	15
<b>3</b>	<b>ZATĚŽOVACÍ ZKOUŠKY STAVEBNÍCH DÍLCŮ A KONSTRUKCÍ</b>	<b>17</b>
3.1	Význam zatěžovací zkoušky	17
3.2	Členění a názvosloví zatěžovacích zkoušek	17
3.3	Základní názvosloví užívané při popisu zatěžovacích zkoušek (viz obrázek)	18
3.4	Zatěžovací zkoušky stavebních dílců	18
3.5	Zatěžovací zkoušky stavebních konstrukcí	20
3.6	Příprava zatěžovací zkoušky	21
3.7	Provádění zatěžovací zkoušky	21
3.8	Postup při zatěžovací zkoušce	22
3.9	Vyhodnocení zatěžovací zkoušky	23
3.10	Hodnocení souboru konstrukcí	24
3.11	Zatěžovací zkoušky betonových konstrukcí	25
3.12	Podmínky pro definování ustáleného přetvoření u betonových konstrukcí	26
3.13	Statické zatěžovací zkoušky stavebních konstrukcí	27
3.14	Dynamické zatěžovací zkoušky stavebních konstrukcí	27
<b>4</b>	<b>ZATĚŽOVACÍ ZKOUŠKY MOSTŮ</b>	<b>29</b>
4.1	Základní požadavky	29
4.2	Oprávnění ke zkouškám	29
4.3	Účel a druhy zatěžovacích zkoušek	29
4.4	Příprava zatěžovací zkoušky	30



---

<b>4.5</b>	<b>Příprava zkoušené mostní konstrukce</b>	<b>30</b>
<b>4.6</b>	<b>Provádění zatěžovací zkoušky</b>	<b>31</b>
<b>4.7</b>	<b>Statická zatěžovací zkouška mostů</b>	<b>31</b>
<b>4.8</b>	<b>Dynamická zatěžovací zkouška</b>	<b>34</b>
<b>5</b>	<b>MĚŘÍCÍ PŘÍSTROJE ZATĚŽOVACÍCH ZKOUŠEK STAVEBNÍCH KONSTRUKCÍ A MOSTŮ</b>	<b>35</b>
<b>5.1</b>	<b>Měřicí přístroje zatěžovacích zkoušek stavebních konstrukcí</b>	<b>35</b>
<b>5.2</b>	<b>Měřicí přístroje používané v minulosti</b>	<b>41</b>
<b>6</b>	<b>ZPŮSOB ZATĚŽOVÁNÍ STAVEBNÍCH KONSTRUKCÍ A MOSTŮ</b>	<b>42</b>
<b>6.1</b>	<b>Způsob zatěžování stavebních konstrukcí</b>	<b>42</b>
<b>6.2</b>	<b>Způsob zatěžování mostních konstrukcí</b>	<b>44</b>
<b>7</b>	<b>PŘÍKLAD ZATĚŽOVACÍ ZKOUŠKY ŽELEZOBETONOVÉ STROPNÍ KONSTRUKCE</b>	<b>46</b>
<b>7.1</b>	<b>Úvod</b>	<b>46</b>
<b>7.2</b>	<b>Předmět a popis sledované konstrukce</b>	<b>46</b>
<b>7.3</b>	<b>Účel zatěžovacích zkoušek</b>	<b>47</b>
<b>7.4</b>	<b>Metodika provádění zatěžovacích zkoušek</b>	<b>47</b>
<b>7.5</b>	<b>Zatížení zkoušených prvků</b>	<b>49</b>
<b>7.6</b>	<b>Popis zkoušených prvků</b>	<b>50</b>
<b>7.7</b>	<b>Hodnocení výsledků zatěžovacích zkoušek</b>	<b>50</b>
<b>7.8</b>	<b>Dílčí závěry</b>	<b>51</b>
<b>7.9</b>	<b>Celkové závěry, obecná doporučení, podmínky platnosti zatěžovacích zkoušek</b>	<b>53</b>
<b>7.10</b>	<b>Výkresová dokumentace</b>	<b>53</b>
<b>7.11</b>	<b>Výstupy zatěžovací zkoušky stropního průvlaku P1</b>	<b>55</b>
<b>7.12</b>	<b>Fotodokumentace</b>	<b>56</b>
<b>8</b>	<b>PŘÍKLAD ZATĚŽOVACÍ ZKOUŠKY STROPNÍ KONSTRUKCE V PRŮBĚHU SANAČNÍCH PRACÍ</b>	<b>57</b>

---

<b>8.1</b>	<b>Úvod</b>	<b>57</b>
<b>8.2</b>	<b>Předmět a popis sledované konstrukce</b>	<b>57</b>
<b>8.3</b>	<b>Účel zatěžovacích zkoušek</b>	<b>57</b>
<b>8.4</b>	<b>Metodika provádění zatěžovacích zkoušek</b>	<b>58</b>
<b>8.5</b>	<b>Zatížení zkoušených prvků</b>	<b>58</b>
<b>8.6</b>	<b>Hodnocení výsledků zatěžovacích zkoušek</b>	<b>58</b>
<b>8.7</b>	<b>Porovnání naměřených deformací</b>	<b>60</b>
<b>8.8</b>	<b>Závěry, obecná doporučení, podmínky platnosti Zatěžovacích zkoušek</b>	<b>61</b>
<b>8.9</b>	<b>Výstupy ze zatěžovacích zkoušek (ZZ 01, ZZ 02)</b>	<b>62</b>
<b>8.10</b>	<b>Fotodokumentace</b>	<b>64</b>
<b>9</b>	<b>PŘÍKLAD ZATĚŽOVACÍ ZKOUŠKY PO PROVEDENÍ SANAČNÍCH PRACÍ</b>	<b>65</b>
<b>9.1</b>	<b>Úvod</b>	<b>65</b>
<b>9.2</b>	<b>Předmět a popis sledované konstrukce</b>	<b>65</b>
<b>9.3</b>	<b>Metodika provádění zatěžovacích zkoušek</b>	<b>66</b>
<b>9.4</b>	<b>Měření deformací a posunů při zatěžovacích zkouškách</b>	<b>66</b>
<b>9.5</b>	<b>Použité zatížení a způsob zatěžování</b>	<b>67</b>
<b>9.6</b>	<b>Vyhodnocení zatěžovacích zkoušek</b>	<b>68</b>
<b>9.7</b>	<b>Měření vodorovného posunu ve svislých trhlinách na vnějším povrchu šikmých stěn zásobníku</b>	<b>69</b>
<b>9.8</b>	<b>Závěry</b>	<b>70</b>
<b>9.9</b>	<b>Fotodokumentace</b>	<b>71</b>
<b>10</b>	<b>ZÁVĚR</b>	<b>73</b>

# 1 ÚVOD

Volba tématu bakalářské práce vyplynula ze zájmu autora o problematiku zatěžovacích zkoušek různých konstrukcí.

Úkolem této práce je popsat způsoby provádění zatěžovacích zkoušek stavebních konstrukcí a mostních konstrukcí především ze železobetonu. Jedná se o jejich použití v případech, kdy k adekvátnímu vyhodnocení stavu konstrukce nestačí diagnostické metody a je zapotřebí zatěžování požadovanou intenzitou k tomu, abychom zjistili skutečný stav konstrukce. Dalším úkolem je popsání a použití měřících přístrojů používaných při zatěžování konstrukcí a zpracování údajů měřených veličin. Dále jsou v této práci zpracovány různé typy zatěžovacích zkoušek.

První rešeršní část práce se věnuje zatěžovacím zkouškám stavebních konstrukcí, stavebních dílců a mostů. Jedná se hlavně o jejich popis a způsob vyhodnocení. Dále část práce poskytuje obecné informace o měřících přístrojích zatěžovacích zkoušek. Především se věnuje jejich stručnému popisu a využití těchto přístrojů.

Druhá praktická část práce se věnuje již různým typům zatěžovacích zkoušek. Jedná se konkrétně o zatěžovací zkoušku stropní konstrukce, dále o zatěžovací zkoušku stropní konstrukce v průběhu sanačních prací a kontrolní zatěžovací zkoušku po provedení sanačních prací.

Předpokládám, že tato práce a její závěry mohou napomoci obecně všem majitelům a provozovatelům budov nebo mostů především ze železobetonu. Práce by mohla posloužit k vhodné volbě zatěžovací zkoušky konstrukce.

Zatěžovací zkoušky jsou pro další využití konstrukcí velmi důležité, avšak jejich provedení je ekonomicky velmi náročné. Používají se u stavebních konstrukcí s mimořádnými požadavky na spolehlivost tak, abychom zjistili a ověřili jejich skutečné chování při účinku zatížení, které nemůžeme zjistit diagnostickými metodami. Jedná se např. o mosty, pilotové základy apod..

## 2 ZÁKLADY DIAGNOSTIKY KONSTRUKCÍ

### 2.1 TERMINOLOGIE A DEFINICE

**zatěžovací zkouška** (load testing) - zkouška konstrukce nebo její části zatěžováním, která umožní zhodnotit její chování nebo vlastnosti, popř. zjistit její únosnost

**zkoušená stavební konstrukce** (test building structure) - znamená jak konstrukci, tak její část

**zkušební zatížení** (test load) - zatížení, kterým se během zatěžovací zkoušky působí na konstrukci, za účelem zjištění vyšetřovaných vlastností

**výchozí zatížení** (default load) - zatížení, které působí na zkoušenou konstrukci při zahájení zkoušky

**stavební dílec** (construction member) - samostatná, předem vyrobená součást stavebního objektu nebo konstrukce

**hodnocení** (assessment) - soubor činností prováděných za účelem ověření spolehlivosti existující konstrukce z hlediska jejího budoucího použití

**prohlídka** (inspection) - nedestruktivní šetření v místě stavby umožňující stanovit současný stav konstrukce

**průzkum** (investigation) - shromažďování a hodnocení informací na základě prohlídky, přezkoumání dokumentace, zatěžovací zkoušky a jiných zkoušek

**materiálové vlastnosti** (material properties) - mechanické, fyzikální nebo chemické vlastnosti konstrukčních materiálů

**pevnostní charakteristiky** (strength characteristics) - kvalitativní a kvantitativní popis pevnosti konstrukce nebo nosného prvku, která může být časově proměnná, jako například průměrná hodnota a směrodatná odchylka pevnosti

**charakteristiky zatížení** (load characteristics) - kvalitativní a kvantitativní popis intenzity zatížení, která může být časově proměnná, jako je doba trvání a četnost výskytu zatížení, průměrná hodnota a směrodatná odchylka intenzity v kterémkoliv časovém okamžiku

**oprava** (patched design) - zlepšení stavu konstrukce obnovením či nahrazením existujících prvků, které byly poškozeny

**plán využití** (utilization plan) - plán obsahující zamýšlený způsob (nebo způsoby využití) konstrukce a popisující podmínky provozu konstrukce, včetně požadavků na údržbu a odpovídajících funkčních požadavků

**přetvárná veličina** (strain quantity) - průhyb, posuv, pootočení, poměrné přetvoření

**silová veličina** (force quantity) - napětí, osová síla, ohybový moment, posouvající síla

**odezva** (response) - účinek přetvárné a silové veličiny

**trhliny konstrukční** (crack design) - trhлина předpokládaná v návrhu železobetonové konstrukce vzniklá v tažené části průřezu

**trhliny nekonstrukční** (cracks non - structural) - trhliny v předpjatém betonu s tlakovou rezervou, trhliny širší než je maximální přípustná šířka

**výběrová zkouška** (selection test) - zkouška, při které je podroben zkušebnímu zatížení pouze jeden nebo několik reprezentantů

**zatěžovací stav** (load condition) - seskupení všech zatížení na mostní konstrukci užívaných v jednom časovém okamžiku

**zatěžování** (loading) - realizace zatěžovacího stavu

## 2.2 POŽADAVKY NA STAVEBNÍ OBJEKTY

Požadavky na stavební objekty odpovídají civilizační úrovni lidských generací a posláním stavebních oborů je navrhnout a realizovat stavby, které těmto požadavkům spolehlivě vyhovují po dobu jejich předpokládaného užívání.

Správným a bezpečným návrhem, ověřováním kvality se ve stavebnictví zabývá stavební zkušebnictví.

Tvůrčí přístup stavebního zkušebnictví spočívá na principech:

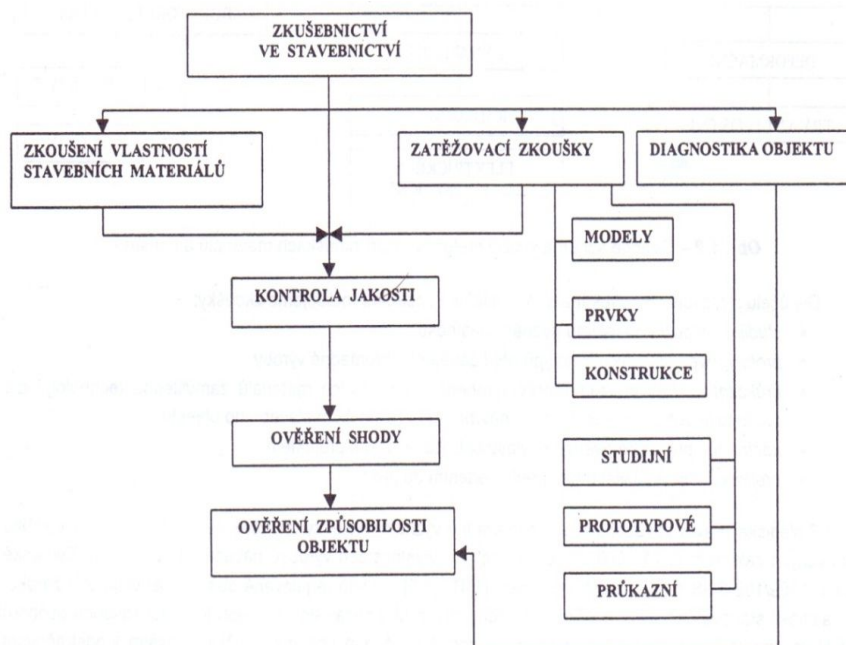
- a) definování fyzikálně - mechanických vlastností stavebních materiálů, dílců a konstrukcí zkušebními metodami
- b) kvalitativního hodnocení výsledků zkoušek
- c) stanovení změn vlastností v době provozu stavebního objektu
- d) upřesnění všech postupů uplatněním metod matematické statistiky a řešením výpočtových modelů zkušebních postupů

Uplatněním těchto principů v praxi nacházíme úzký vztah mezi užitnou zkušební metodou, tvarem i velikostí vzorku a zjištěným parametrem stavební látky. Příkladem je definování pevnosti betonu v tlaku pomocí parametrů stanovených na krychli o hraně 150 mm nebo válci o průměru 150 mm a výšce 300 mm. Pak rozlišujeme krychelnou pevnost betonu v tlaku a válcovou pevnost betonu v tlaku.

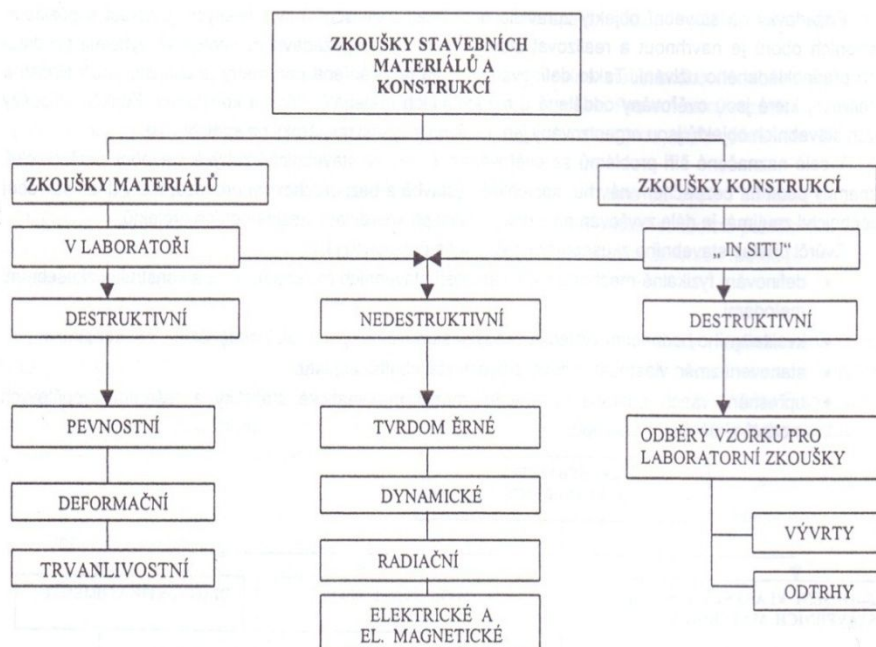
S rostoucími nároky na stavby jsou vyvíjeny nové zkušební metody a postupy stavebního zkušebnictví. Významným předělem je rozvoj metod nedestruktivního zkušebnictví. Při těchto metodách není vzorek porušen. Měření se tedy na vzorcích i

stavebních objektech mohou opakovat. Nedestruktivními metodami můžeme stanovit změny parametrů materiálů, dílců a konstrukcí v době provozu stavebního objektu.

Z hlediska právní závažnosti mají mimořádný význam výsledky zkoušek ověřující vlastnosti výrobků stanovené zákonem o technických vlastnostech těchto výrobků. [7]



Obr. 2.1: Obsah pojmu zkušebnictví ve stavebnictví [7]



Obr. 2.2: Obecné schéma využití metod NDT při zkouškách materiálů konstrukcí [7]

## **2.3 OBECNÉ POŽADAVKY NA PRŮZKUM**

### **2.3.1 Druhy průzkumu**

Stavebně technický průzkum zahrnuje stav existujících konstrukcí, shromažďování a hodnocení informací na základě prohlídky, přezkoumání dokumentace, zatěžovací zkoušky a další zkoušky. Na počátku se stanoví účel průzkumu. Rozsah průzkumu se liší tehdy, když se průzkum provádí pro účely předběžného nebo podrobného hodnocení. <sup>[5]</sup>

### **2.3.2 Předběžné hodnocení**

Předběžné hodnocení začíná ověřením projektové a inspekční dokumentace, která obsahuje důležité informace pro zevrubné hodnocení existující konstrukce. Ověří se, zda je dokumentace správná a aktualizovaná, a zda zahrnuje informace o každém předchozím provedeném konstrukčním opatření. Důležitými údaji, které se dokumentují, jsou např. významné účinky prostředí nebo seizmická zatížení, extrémní zatížení, změny v základových poměrech, koroze a nesprávné využití konstrukce.

Dále se provádí identifikace konstrukčního systému a možného poškození konstrukce. Využívá se při tom vizuální prohlídky a jednoduchých nástrojů. Předběžně se stanoví pravděpodobné příčiny vad konstrukce (deformace, trhliny, koroze, porušené prvky). Shromážděné informace se vztahují např. k vlastnostem povrchu, k viditelným deformacím, k trhlinám, odprýskávání, ke korozi, apod. Výsledky předběžné prohlídky se vyjadřují kvalitativním zařazením stavu konstrukce podle jejího možného poškození (např. žádné, menší, mírné, závažné, destrukční, neznámé), včetně podrobného popisu konkrétní vady a poruchy.

Pokud se při předběžné prohlídce a následném předběžném ověření zjistí, že během požadované zbytkové životnosti je konstrukce spolehlivá, nevyžaduje se podrobné hodnocení. Je doporučeno provést podrobné hodnocení, když se vyskytnou nejistoty v účincích zatížení, zatíženích nebo ve vlastnostech konstrukce. <sup>[5]</sup>

### **2.3.3 Podrobné hodnocení**

Při podrobném hodnocení prověřujeme následující dokumentace:

- a) výkresy, technické požadavky, statický výpočet, stavební deník, záznamy o prohlídkách a údržbě, podrobnosti o změnách
- b) předpisy a normy použité při výstavbě konstrukce

c) topografie, základové podmínky, úroveň hladiny podzemní vody v místě stavby

Na základě dostupných informací je plánována prohlídka. Výsledkem podrobné kvantitativní prohlídky je soubor aktualizovaných hodnot nebo rozdělení pro příslušné parametry, které ovlivňují vlastnosti konstrukce.

Zatížení se určí podle ISO 2394 s přihlédnutím k opatřením daným v plánu bezpečnostních opatření a v plánu využití podle ČSN ISO 13822 [5]. V případě nejistoty jsou vlivy prostředí zjišťovány na základě prohlídky. Průzkum závisí na typu zatížení. Při určování zatížení a vlivů prostředí může být potřebné uvažovat specifické vlastnosti konstrukce, její okolní prostředí nebo sledovat zatížení. To může být důležité pro stanovení dlouhodobých a extrémních účinků, které nelze během shromažďování informací o zatíženích a vlivech prostředí měřit přímo (v normách jsou zatížení často stanovena tak, aby představovala padesátiletá maxima, která nemohou být přímo měřitelná). Při stanovení stálého zatížení (vlastní tíhy konstrukce) se mají změřit rozměry nebo stanovit objemové tíhy.

Pokud není podrobná analýza konstrukce nebo samotná prohlídka dostatečně průkazná, používají se ke stanovení vlastností konstrukce nebo k predikci její únosnosti zkoušky. Vlastnosti materiálů, které se použijí při hodnocení, musí být skutečnými vlastnostmi materiálů existující konstrukce, a ne vlastnostmi materiálů specifikovanými v původním návrhu konstrukce v normě nebo předpisu. Při určování vlastností materiálů se přihlíží k degradaci a možným vlivům zatížení (např. požárem) v průběhu existence konstrukce.

Vlastnosti materiálů lze stanovit z výkresů a návrhových specifikací, pokud neexistují pochybnosti o jejich platnosti. V případě nejistoty se vlastnosti materiálů stanoví experimentálně. Zkoušky jsou plánovány tak, aby se získaly údaje, které se přímo týkají požadované bezpečnosti a použitelnosti konstrukce a prokazují se v hodnocení. Uvažuje se účel konstrukce a vlivy prostředí, které na konstrukcích působí. [8]



## **3 ZATĚŽOVACÍ ZKOUŠKY STAVEBNÍCH DÍLCŮ A KONSTRUKCÍ**

### **3.1 VÝZNAM ZATĚŽOVACÍ ZKOUŠKY**

Při návrhu stavebních dílců a konstrukcí využíváme výsledků průkazných zkoušek materiálů, postupů pro dimenzování a osvědčených stavebních technologií při výstavbě.

Zatěžovací zkoušku nosné konstrukce nebo dílce provádíme s cílem získat podklady pro hodnocení:

- a) funkce zkoušené konstrukce při statickém nebo dynamickém zatížení
- b) spolehlivosti konstrukce z hlediska mezních stavů použitelnosti
- c) výpočtových modelů, pokud je pochybnost, že použité výpočtové postupy nejsou dostatečné a výstižné
- d) spolehlivosti konstrukce, jsou-li pochybnosti o shodě provedení konstrukce s požadavky návrhu

Dle tohoto členění jsou specifikovány zkušební postupy a vyhodnocování zatěžovacích zkoušek v českých technických normách. Na základě hodnocení výsledků zatěžovací zkoušky se rozhodne o uvedení konstrukce do provozu nebo o zahájení hromadné výroby stavebních dílců. Z výsledků zatěžovací zkoušky vyplývají důsledky, a proto je mohou vykonávat pouze odborníci, jejichž způsobilost byla ověřena dle zákonů a předpisů. [7]

### **3.2 ČLENĚNÍ A NÁZVOSLOVÍ ZATĚŽOVACÍCH ZKOUŠEK**

Dle podmínek provádění rozlišujeme:

- a) zatěžovací zkoušky nezabudovaných stavebních dílců prováděné ve zkušebnách
- b) zatěžovací zkoušky stavebních konstrukcí před zahájením provozu nebo v době provozu
- c) zatěžovací zkoušky modelů stavebních konstrukcí, prováděné v laboratořích

Dle časového působení zkušebního zatížení rozlišujeme:

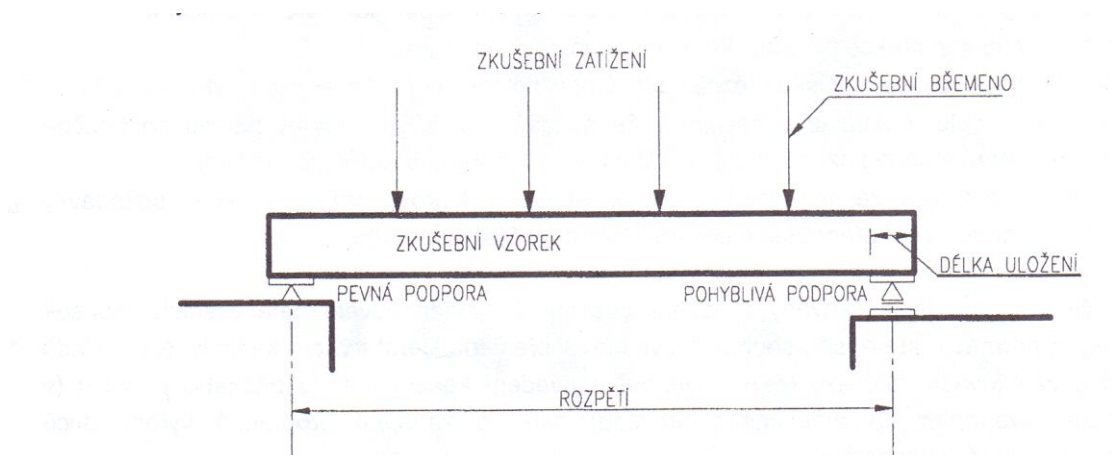
- a) zkoušky krátkodobé - sloužící k ověření okamžitých vlastností
- b) zkoušky dlouhodobé - sloužící ke studiu dlouhodobých přetvárných vlastností konstrukce

Dle charakteru zatížení jsou vymezené tyto typy zkoušek:

- a) statické zatěžovací zkoušky

b) dynamické zatěžovací zkoušky <sup>[7]</sup>

### 3.3 ZÁKLADNÍ NÁZVOSLOVÍ UŽÍVANÉ PŘI POPISU ZATĚŽOVACÍCH ZKOUŠEK (VIZ OBRÁZEK)



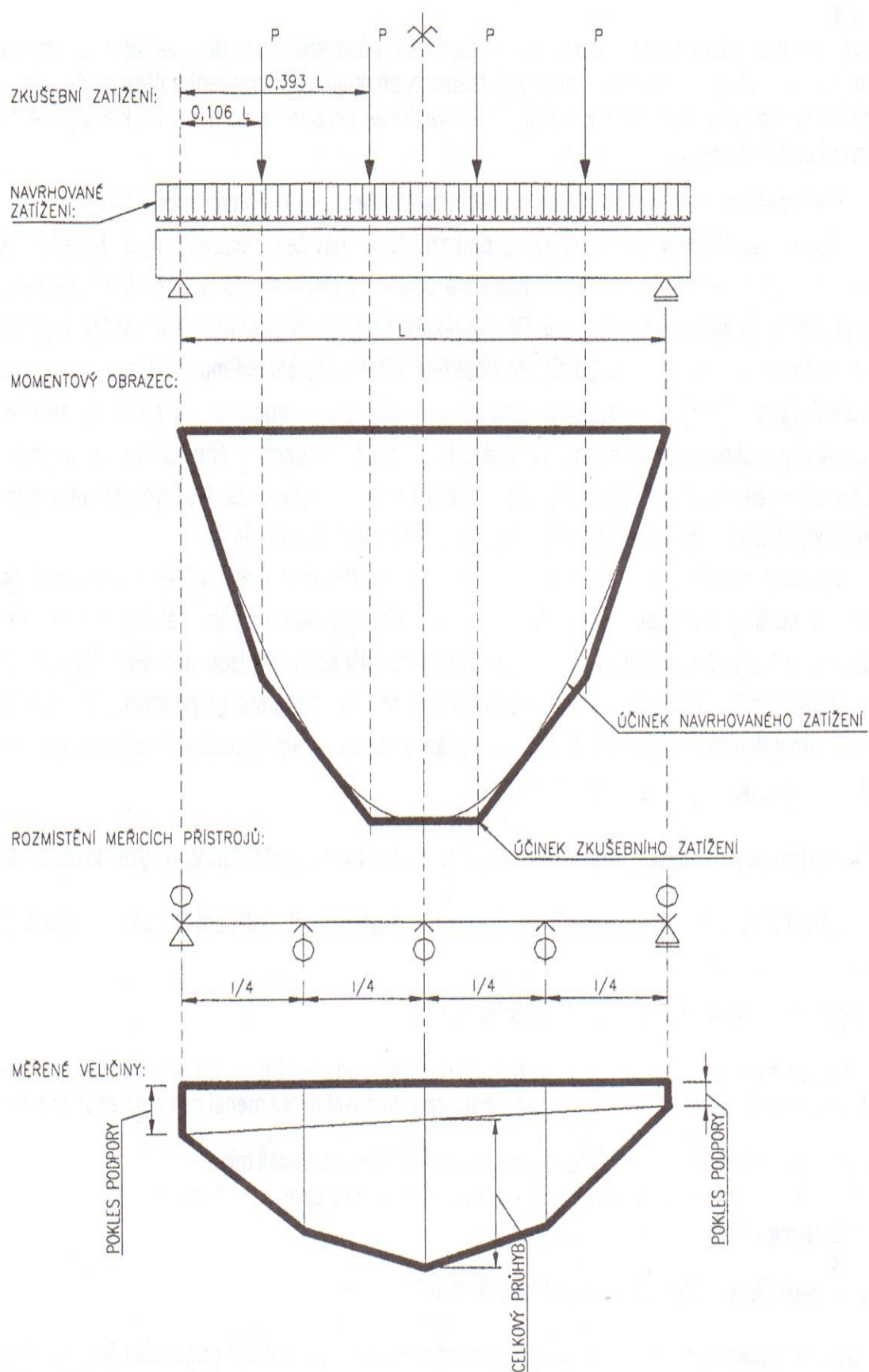
Obr. 3.1: Uspořádání zatěžovací zkoušky ohýbaného betonového vzorku <sup>[7]</sup>

### 3.4 ZATĚŽOVACÍ ZKOUŠKY STAVEBNÍCH DÍLCŮ

Pro účely zatěžovacích zkoušek jsou rozlišeny betonové dílce (ČSN 73 2046), kovové dílce (ČSN 73 2037), keramické dílce (ČSN 73 2038), pórabetonové dílce (ČSN 73 2034) a dřevěné dílce.

Při návrhu stavebního dílce je současně určena technologie opakované nebo hromadné výroby. Součástí kontroly návrhu jsou zkoušky hotových výrobků před zahájením a v průběhu výroby. Před zahájením hromadné výroby je správnost návrhu a vhodnost technologie ověřována průkazní zkouškou (viz kap. 3.5.3). K této zkoušce jsou vyrobeny nejméně tři zkušební vzorky. Při kontrole jsou z každé výrobní série odebírány zkušební vzorky materiálů a dílců podle zkušebního plánu pro kontrolní zkoušky.

Při přípravě zkoušky stanovíme rozložení zkušebního zatížení jako náhradu zatížení uvažovaného při návrhu dílce. Rovnoměrné zatížení nahrazujeme nejvhodněji soustavou čtyř břemen (viz obr. 3.2). <sup>[7]</sup>



Obr. 3.2: Uspořádání a měření při statické zatěžovací zkoušce <sup>[7]</sup>

## **3.5 ZATĚŽOVACÍ ZKOUŠKY STAVEBNÍCH KONSTRUKCÍ**

### **3.5.1 Základní požadavky na stavební konstrukce**

Spolehlivost zkoušené konstrukce - Podmínky spolehlivosti zkoušené konstrukce jsou určeny tak, aby spolehlivost konstrukce stanovená zkouškou odpovídala spolehlivosti stanovené výpočtem podle norem pro navrhování. Součinitelé spolehlivosti materiálu a součinitelé zatížení je proto nutno stanovit podle příslušných norem pro navrhování. <sup>[1]</sup>

Bezpečnostní opatření při zatěžovacích zkouškách - Laboratoř, která zajišťuje přípravu, provádění a vyhodnocení zatěžovací zkoušky, odpovídá za bezpečnost osob i majetku v průběhu zkoušky. <sup>[1]</sup>

### **3.5.2 Účel zatěžovacích zkoušek**

Účelem zatěžovací zkoušky je:

- a) posoudit spolehlivost konstrukce, pokud toto posouzení je předepsáno v systému, kterým se zjišťuje spolehlivost konstrukcí
- b) ověřit výpočtové modely, pokud je pochybnost, že použité výpočtové modely nejsou dostatečně výstižné
- c) posoudit spolehlivost konstrukce, pokud jsou pochybnosti o shodě provedení konstrukce s požadavky návrhu
- d) posoudit spolehlivost stávající konstrukce v případě, že není možno bezpečně zjistit všechny potřebné parametry pro výpočet <sup>[1]</sup>

### **3.5.3 Druhy zatěžovacích zkoušek**

Z hlediska způsobu vyhodnocení se zatěžovací zkoušky dělí na:

- a) zatěžovací zkoušky prováděné do dosažení únosnosti konstrukce
- b) zatěžovací zkoušky prováděné bez dosažení únosnosti konstrukce

Z hlediska účelu se zatěžovací zkoušky dělí na:

- a) průkazní, popř. prototypové zkoušky, sloužící k ověření spolehlivosti před zahájením výroby konstrukcí
- b) kontrolní výrobní zkoušky, sloužící k prověření spolehlivosti v průběhu, nebo po dokončení výroby konstrukcí
- c) ostatní druhy (viz ČSN 73 2031) <sup>[1]</sup>

### 3.6 PŘÍPRAVA ZATĚŽOVACÍ ZKOUŠKY

Součástí každé zatěžovací zkoušky je zpracování programu zkoušky, který zpravidla obsahuje:

- a) stanovení účelu a rozsahu zatěžovací zkoušky
- b) údaje o skutečném stavu zkoušené konstrukce (údaje o geometrii konstrukce, charakteristikách materiálu, statickém a dynamickém chování, shodě s návrhem, porušení, apod.)
- c) zjištění požadavků na konstrukci z hlediska mezních stavů únosnosti a mezních stavů použitelnosti, včetně kontroly statického dynamického výpočtu
- d) určení druhu a intenzity zatížení při zatěžovací zkoušce, a stanovení zatěžovacích stupňů a délky působení zkušebního zatížení
- e) určení měřených veličin, způsobu jejich snímání přenosu a zpracování, včetně údajů o použitých měřících a vyhodnocovacích přístrojích
- f) stanovení způsobu hodnocení výsledků zatěžovací zkoušky
- g) stanovení způsobu výběru zkoušených konstrukcí
- h) specifikace konstrukcí, pro které se zatěžovací zkoušky provádějí, a pro které budou mít výsledky zkoušek platnost
- i) předpokládaný harmonogram zkoušky <sup>[1]</sup>

### 3.7 PROVÁDĚNÍ ZATĚŽOVACÍ ZKOUŠKY

Zatěžovací zkouška má být provedena tak, aby nebyl nepříznivě ovlivněn její výsledek. Je nutno sledovat nepříznivé vlivy a přihlédnout k nim. Při zatěžovací zkoušce se postupně zvyšuje zatížení na konstrukci a měří se odezva konstrukce. Měření musí být provedeno v takovém rozsahu a přesnosti, aby byly získány potřebné informace o konstrukci. Odchylka skutečného zatížení od požadované hodnoty zkušebního zatížení nesmí přesáhnout 3 % požadované hodnoty zatížení při zkoušce ve zkušebně a 5 % při zkoušce v in situ.

Provádí-li se zatěžovací zkoušky pouze na části nebo na všech konstrukcích, jedná se zkoušky ve smyslu ČSN 01 0215. <sup>[1]</sup>

### 3.8 POSTUP PŘI ZATĚŽOVACÍ ZKOUŠCE

#### 3.8.1 Základní zatěžovací postup (viz obr. 3.3):

a) konstrukce, která je při začátku zkoušky zatížena vlastní tíhou nebo tíhou zkušebního zařízení, se zatíží na hodnotu  $G_s$ , která odpovídá hodnotě stálého zatížení (bod

1)

b) po ustálení přetvoření se zatížení zvýší na hodnotu  $G_s + V_s$  (bod 2), která odpovídá provozní hodnotě stálého a nahodilého zatížení (bod 3)

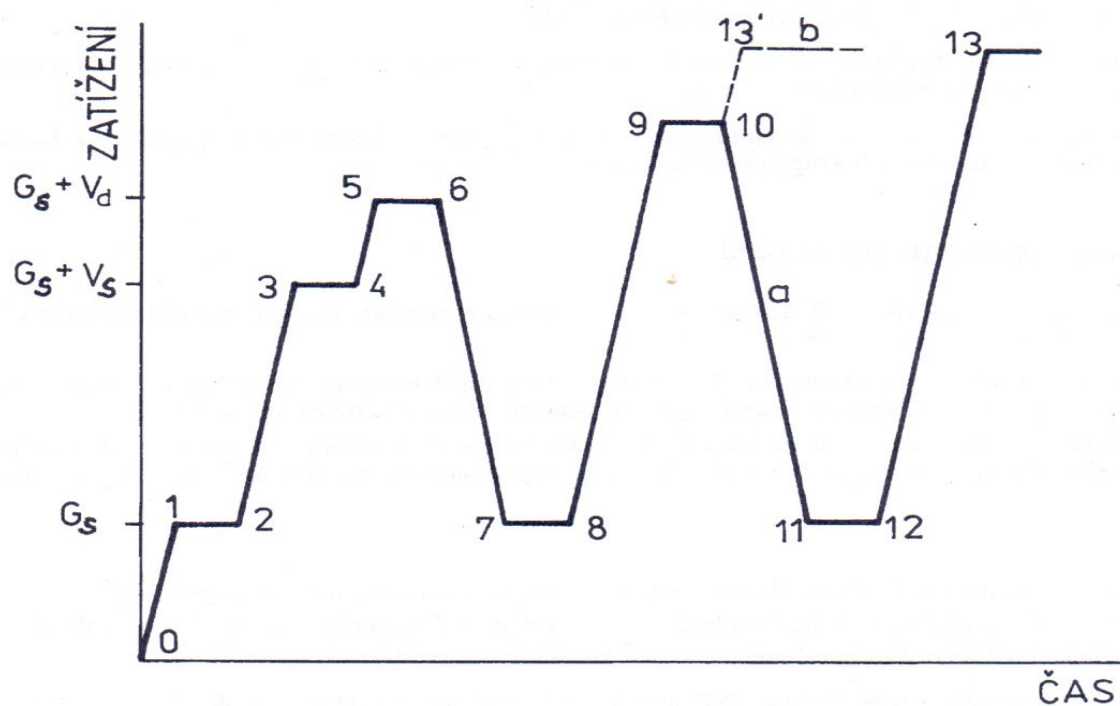
c) po ustálení přetvoření (bod 4) se zvýší provozní hodnota stálého zatížení o extrémní hodnoty nahodilého zatížení  $G_s + V_d$  (bod 5)

d) po ustálení přetvoření (bod 6) se konstrukce odlehčí na hodnotu  $G_s$  (bod 7)

e) po ustálení přetvoření (bod 8) se zatížení zvýší na hodnotu o 10 - 20 % vyšší než hodnota  $G_s + V_d$  (bod 9)

f) po ustálení přetvoření (bod 10) se konstrukce odlehčí na hodnotu  $G_s$  (bod 11) a zjistí se velikost přetvoření (bod 12) - větev a

g) při dalších zatěžovacích cyklech se opakuje postup mezi body 8 - 12 s tím, že při každém zatěžovacím cyklu se zatížení zvýší o dalších 10 - 20 % z hodnoty  $G_s + V_d$  <sup>[1]</sup>



Obr. 3.3: Základní zatěžovací postup <sup>[1]</sup>

### 3.8.2 Zatěžovací postup při zkoušce do dosažení únosnosti konstrukce

Při zkoušce se postupuje podle základního zatěžovacího postupu. Dosažením únosnosti konstrukce je zkouška ukončena.

### 3.8.3 Zatěžovací postup při zkoušce bez dosažení únosnosti

Při zkoušce se postupuje podle základního zatěžovacího postupu až do bodu 8, kdy je zkouška buď ukončena, nebo se opakuje se zpřísněnými kritérii.

## 3.9 VYHODNOCENÍ ZATĚŽOVACÍ ZKOUŠKY

Při vyhodnocení zatěžovací zkoušky se zkoušená konstrukce hodnotí z hlediska mezních stavů únosnosti a mezních stavů použitelnosti.

Do dosažení únosnosti je zkoušená konstrukce spolehlivá z hlediska mezního stavu únosnosti, splňuje-li tato kritéria:

- a) experimentální hodnota únosnosti je větší než výpočtová hodnota únosnosti násobená součinitelem spolehlivosti zkoušení

$$\overline{F}_{\text{exp}} > F_{\text{vyp}} \times \gamma_{\text{exp}} \quad [8]$$

kde:  $\overline{F}_{\text{exp}}$  ... experimentálně stanovená mezní síla při porušení [kN]

$F_{\text{vyp}}$  ... teoreticky stanovená mezní síla při porušení [kN]

$\gamma_{\text{exp}}$  ... součinitel spolehlivosti

Tab. 3.1 Hodnoty součinitele spolehlivosti  $\gamma_{\text{exp}}$  <sup>[1]</sup>

$\gamma_{\text{exp}}$	Pro prvky
1,6	porušené ohybem
1,4	porušené tlakem a smykem
1,4	jinak porušené

- b) při zatížení na hodnotu, která odpovídá zatížení  $G_s + V_d$  a následném odlehčení na hodnotu, která odpovídá zatížení  $G_s$ , je poměr mezi trvalým a celkovým přetvořením menší než součinitel  $\lambda_1$

$$\frac{S_r}{S_{\text{tot}}} < \lambda_1 \quad [8]$$

kde:  $S_r$  ... trvalá deformace prvku  $S_r = S_{tot,4} - S_{tot,1}$  [mm]

$S_{tot}$  ... celková deformace prvku [mm]

**Součinitel  $\lambda_1$  pro konstrukce z železobetonu**

$$\lambda_1 = 0,3 - 0,1[V_d : (V_d + G_s)]$$

Pokud je poměr mezi trvalým a celkovým přetvořením větší než  $\lambda_1$ , ale menší než  $2 \lambda_1$ , je možno zkoušku opakovat. Při opakované zkoušce se postupuje stejně s tím, že poměr mezi trvalým a celkovým přetvořením  $\lambda_2$  může být nejvýše  $\frac{\lambda_1}{2}$ . Zatěžovací zkoušku lze opakovat nejvýše třikrát.

Do dosažení únosnosti je zkoušená konstrukce spolehlivá z hlediska mezního stavu použitelnosti, splňuje-li tato kritéria:

- a) experimentální hodnota přetvárného účinku od zkušebního zatížení, které odpovídá provoznímu nahodilému zatížení, se neliší od teoretické hodnoty přetvárného účinku stejného zatížení o více než  $\pm \mu$  násobek

**Součinitel  $\mu$  pro konstrukce z železobetonu**

$$\mu = 0,4$$

- b) experimentální hodnota přetvárného účinku od zkušebního zatížení, které odpovídá provoznímu nahodilému zatížení, je menší než odpovídající mezní hodnoty přetvoření stanovené v normách pro navrhování konstrukcí <sup>[1]</sup>

### 3.10 HODNOCENÍ SOUBORU KONSTRUKCÍ

Při výběrových zatěžovacích zkouškách do dosažení únosnosti konstrukce se konstrukce hodnoceného souboru považují za spolehlivé z hlediska mezního stavu únosnosti, splňuje-li toto kritérium:

Experimentální hodnota únosnosti stanovená z výsledků  $n$  zkoušek je větší než výpočtová hodnota únosnosti násobená součinitelem spolehlivosti zkoušení  $\gamma_{exp}$ .

Experimentální hodnota  $R_{exp}$  se určí ze vztahu:

$$R_{exp} = \overline{R_{exp}} - k_n s_r$$

kde:  $\overline{R_{exp}}$  ... výběrový aritmetický průměr zjištěný z experimentálních únosností zkoušek

$s_r$  ... výběrová směrodatná odchylka

$k_n$ ... součinitel pro meze konfidenčního intervalu pro odhad průměru



Z hlediska mezního stavu použitelnosti se konstrukce považují za spolehlivé, splňují-li toto kritérium:

Experimentální hodnota přetvárného účinku zatížení stanovená z výsledku  $n$  zkoušek se neliší od teoretické hodnoty přetvárného účinku o více než o  $\mu$  násobek. <sup>[1]</sup>

Experimentální hodnota  $D_{exp}$  se určí ze vztahu:

$$RD_{exp} = \overline{D_{exp}} \pm k_n s_r$$

kde:  $\overline{D_{exp}}$  ... výběrový aritmetický průměr zjištěný z experimentálně zjištěných přetvárných účinků zkoušek

$s_r$  ... výběrová směrodatná odchylka

$k_n$ ...součinitel pro meze konfidenčního intervalu pro odhad průměru

**Tab. 3.2 Hodnoty součinitele  $k_n$  <sup>[1]</sup>**

Počet zkoušek $n$	součinitel $k_n$
3	0,47
4	0,38
5	0,33
6	0,30
9	0,23
12	0,20

### 3.11 ZATĚŽOVACÍ ZKOUŠKY BETONOVÝCH KONSTRUKCÍ

#### 3.11.1 Charakteristické znaky mezního stavu únosnosti betonových dílců a konstrukcí

Za dosažení únosnosti betonové konstrukce při zatěžovací zkoušce se považuje:

- a) ztráta stability tvaru konstrukce
- b) neustálé přetváření konstrukce při konstantním zatížení
- c) drcení betonu
- d) přetržení nebo vybočení výztuže
- e) posun ve smykových trhlinách
- f) u ohýbaných prvků průhyb větší než 1/50 rozpětí
- g) jiné trvalé porušení konstrukce

Za dosažení únosnosti betonového dílce při zatěžovací zkoušce se považuje:

- a) ztráta stability tvaru po dobu 60 min

- b) neustálé přetváření konstrukce při konstantním zatížení
- c) drcení betonu
- d) přetržení nebo vybočení výztuže
- e) posun ve smykových trhlinách
- f) u ohýbaných konzol větší než 1/25 vyložení
- g) šířka trhlin  $> 1,5 \text{ mm}$  <sup>[1]</sup>

### 3.11.2 Charakteristické znaky mezního stavu použitelnosti betonových dílců a konstrukcí

Zvláštní zřetel u konstrukcí vyžadují:

- a) deformace a posuvy, které ovlivňují vzhled nebo využití konstrukce
- b) kmitání, které způsobuje nepohodlí osob, poškození konstrukce nebo omezuje funkčnost činnosti
- c) poškození (včetně trhlin), která mohou nepříznivě ovlivnit vzhled, trvanlivost nebo funkci konstrukce
- d) zjevné poškození způsobené únavou a jinými účinky

Po dosažení základního zatížení nesmí šířka trhlin u železobetonového dílce překročit:

- 0,1 mm u dílců vystavených agresivnímu prostředí
- 0,2 mm u dílců vystavených vlivu povětrnosti
- 0,3 mm u všech ostatních dílců

Po odlehčení se trhliny uzavrou na šířku menší než 1/3 hodnoty zjištěné při zatížení.

#### *Obecné označení přetvoření při zatěžovací zkoušce*

$$S_r + S_e = S_{\text{tot}}$$

kde:  $S_r$  ... trvalé přetvoření

$S_e$  ... pružné přetvoření

$S_{\text{tot}}$  ... celkové přetvoření <sup>[7]</sup>

### 3.12 PODMÍNKY PRO DEFINOVÁNÍ USTÁLENÉHO PŘETVOŘENÍ U BETONOVÝCH KONSTRUKCÍ

Přetvoření se považuje za ustálené, je-li po třiceti minutách po dosažení nebo po odlehčení na zatěžovací stupeň změna přetvoření v časovém intervalu 10 minut, menší než nejmenší z těchto hodnot:

A1 - 20 % ze změny přetvoření v předchozím časovém intervalu deseti minut

A2 - 2 % z celkové změny přetvoření příslušné zatěžovacímu stupni

A3 - 0,5 % nejmenší jednotky měřícího přístroje <sup>[7]</sup>

### **3.13 STATICKÉ ZATĚŽOVACÍ ZKOUŠKY STAVEBNÍCH KONSTRUKCÍ**

Při statické zatěžovací zkoušce je změna velikosti zatížení pomalá, vyvozuje tedy na zkušební dílec nebo konstrukci statické účinky.

Zkoušená stavební konstrukce reprezentuje ucelenou funkční konstrukci nebo její část, případně je reprezentantem celé skupiny konstrukcí.

Před zahájením přípravy zatěžovací zkoušky je požadováno odpovědné zdůvodnění, stanovení rozsahu a cílů zkoušky. U zkoušek konstrukcí, před jejich uvedením do provozu, je zapotřebí zvážit důsledky na technický stav (trvalé přetvoření, trhliny, apod.). Zatěžovací zkoušky stavebních konstrukcí jsou prováděny buď ve zkušebnách na speciálních lácích drahách, nebo častěji na staveništi či v provozu. V etapě přípravy je proveden podrobný průzkum a výsledky jsou porovnávány s projektem skutečného provedení, a s předpoklady statického výpočtu.

Základní zatěžovací postup (obr. 3.3) je využíván u zkoušek bez dosažení meze únosnosti, případně se opakuje se zpřísněnými kritérii. <sup>[7]</sup>

### **3.14 DYNAMICKÉ ZATĚŽOVACÍ ZKOUŠKY STAVEBNÍCH KONSTRUKCÍ**

Dynamické zkoušky konstrukcí jsou doporučeny pro tyto typy konstrukcí se zatížením vyvolávajícím dynamické účinky:

- a) věže a komíny o výšce  $v > 80$  m, budovy  $v > 100$  m, osvětlovací stožáry  $v > 60$  m
- b) stropní konstrukce veřejných budov velkých rozpětí (sály)
- c) průmyslové budovy velkých rozpětí
- d) u staveb s předpokládanou aerodynamickou nestabilitou
- e) u mostů neobvyklých statických soustav a mimořádných rozpětí
- f) u konstrukcí a mostů, u nichž se předpokládá opakovaná kontrola spolehlivosti porovnáním změn dynamických charakteristik v době životnosti

- g) u lávek pro chodce a cyklisty z hlediska účinku vibrací na lidský organismus
- h) u konstrukcí, kde zkouška nahrazuje teoretický výpočet

V odůvodněných případech provádíme nejprve informativní dynamickou zkoušku při užití libovolného zařízení k ověření základních charakteristik konstrukcí (útlumu, vlastní frekvence, apod.). Při dynamické zatěžovací zkoušce sledujeme odezvu konstrukce na užité zatížení s dynamickými účinky.

Samostatně jsou posuzovány odezvy seizmického zatížení (vznikne pohybem základové půdy vyvolané zemětřesením) a odezvy technické seismicity (vyvolané dopravou, stavební činností apod.). V případě technické seismicity posuzujeme efektivní rychlost kritických míst konstrukce. Místa jsou volena z hlediska uživatelů nebo únosnosti konstrukce. <sup>[7]</sup>

## **4 ZATĚŽOVACÍ ZKOUŠKY MOSTŮ**

### **4.1 ZÁKLADNÍ POŽADAVKY**

Spolehlivost zkoušené konstrukce - požadavky týkající se spolehlivosti zkoušené konstrukce a bezpečnostních opatření při zatěžovacích zkouškách jsou uvedeny v kap. 3.5.1. [2]

### **4.2 OPRAVNĚNÍ KE ZKOUŠKÁM**

Zatěžovací zkoušky mohou provádět pouze zkušebny nebo laboratoře, které jsou pro tyto zkoušky akreditovány a mají pro tyto zkoušky pověření od ústředního orgánu státní správy ve věcech dopravy. [2]

### **4.3 ÚČEL A DRUHY ZATĚŽOVACÍCH ZKOUŠEK**

#### **4.3.1 Účel zatěžovacích zkoušek**

Účelem zatěžovací zkoušky mostu je získat podklady pro ověření:

- a) statické, popř. dynamické, funkce zkoušené konstrukce
- b) spolehlivosti konstrukce v mezních stavech použitelnosti
- c) výpočtových modelů a uvažovaných vstupních charakteristik výpočtu

Zkoušky se také provádějí, je-li třeba:

- a) posoudit spolehlivost a jakost mostu
- b) posoudit spolehlivost konstrukce mostu, pokud jsou pochybnosti o shodě provedení konstrukce s požadavky návrhu
- c) posoudit spolehlivost konstrukce v případě, že nebylo možné bezpečně zjistit všechny potřebné parametry pro výpočet při návrhu konstrukce

#### **4.3.2 Druhy zatěžovacích zkoušek**

Podle způsobu a druhu zatížení se zkoušky dělí na:

- a) statické zatěžovací zkoušky, při nichž zkušební zatížení vyvoluje na most statické účinky
- b) dynamické zatěžovací zkoušky, při nichž zkušební zatížení vyvoluje na most dynamické účinky [2]

## **4.4 PŘÍPRAVA ZATĚŽOVACÍ ZKOUŠKY**

### **4.4.1 Podklady pro zkoušku**

Součástí přípravy zatěžovací zkoušky je program zkoušky, který obsahuje tyto podklady:

- a) stanovení účelu a nezbytného rozsahu zkoušky
- b) údaje o skutečném stavu zkoušeného mostu, tj. údaje o geometrii konstrukce, shodě s návrhem, apod.
- c) technické podklady potřebné k posouzení konstrukce z hlediska mezních stavů únosnosti a použitelnosti
- d) určení druhu a intenzity zatížení při zatěžovací zkoušce, stanovení zatěžovacích stupňů
- e) stanovení měřených veličin, způsobu jejich snímání, údaje o použitých měřících přístrojích
- f) stanovení způsobu hodnocení výsledků zatěžovací zkoušky
- g) způsob výběru reprezentantů
- h) popis přípravných prací, pomocná zařízení
- i) předpokládaný harmonogram zkoušky, popř. časový plán výluky <sup>[2]</sup>

## **4.5 PŘÍPRAVA ZKOUŠENÉ MOSTNÍ KONSTRUKCE**

Zatěžovací zkouška se smí provádět teprve po provedení hlavní prohlídky mostního objektu. Prohlídky mostů je povinen zabezpečit vlastník nebo správce mostu. Na prohlídky mostů ve smyslu právních předpisů dohlíží příslušné orgány státní správy. Před přejímacím řízením a zahájením provozu na mostě musí být provedena první hlavní prohlídka nového nebo rekonstruovaného mostu. Správce mostu si pro potřebu přejímek může zajistit provedení technických prohlídek mostu. <sup>[6]</sup>

### **4.5.1 Druhy prohlídek**

Na mostech se provádějí tyto typy prohlídek:

- a) běžné - prohlíží se při nich stav především spodní stavby, nosné konstrukce, povrchu vozovky, apod.; provádí se podle klasifikačních stupňů I - VII jednou až dvakrát ročně

b) hlavní - prověřují se při ní všechny části mostu z hlediska jejich spolehlivosti; provádí se podle klasifikačních stupňů I - VII v rozmezí 2- 6 let

c) mimořádné - stanoví se při nich okamžitý stav mostu; provádí se např. po živelných pohromách nebo po dopravní nehodě na mostě

d) kontrolní - při kontrolní prohlídce se provádí kontrola provádění běžných a hlavních prohlídek <sup>[6]</sup>

## 4.6 PROVÁDĚNÍ ZATĚŽOVACÍ ZKOUŠKY

Zatěžovací zkouška se provádí tak, aby nebyla ovlivněna požadovaná únosnost, použitelnost a trvanlivost mostu, a nebyly způsobeny škody na objektu.

Při provádění zatěžovací zkoušky, se zaznamenávají tyto údaje:

- a) základní údaje o mostním objektu
- b) datum měření
- c) teplota vzduchu a částí mostní konstrukce, vývoj počasí v průběhu zkoušky
- d) použité měřicí přístroje a schéma jejich zapojení
- e) měřené veličiny (posunutí, deformace, apod.)
- f) hmotnostní a geometrické charakteristiky použité zátěže
- g) označení jednotlivých zatížení, schéma jejich uspořádání na mostu
- h) nastavení citlivosti měřících přístrojů, kalibrovaných měřených veličin <sup>[9]</sup>

## 4.7 STATICKÁ ZATĚŽOVACÍ ZKOUŠKA MOSTŮ

Pro statickou zatěžovací zkoušku lze užít zátěží různých druhů, např. lokomotivy, vagóny, chodce, stavební stroje, zásobníky naplněné vodou. Je však nutné znát skutečné hmotnosti zátěží a jejich rozměry. Při této zkoušce je potřeba pro jednotlivé zatěžovací stavy změřit alespoň **svislý průhyb** v místech největších očekávaných průhybů mostních polí, **pokles podpor** a **zatlačení ložisek**. <sup>[9]</sup>

Dále se doporučuje sledovat **teplotu vzduchu, poměrná přetvoření, průhyby, posuny, sedání základů, vznik a rozvoj trhlin**.

Pokud při statické zatěžovací zkoušce dojde ke ztrátě stability některého prvku mostní konstrukce nebo k překročení mezních šířek trhlin, je nutné zatěžovací zkoušku přerušit a objasnit příčiny.

Podle druhu mostu a jeho rozpětí se měří svislé průhyby a vodorovné posuvy ve více bodech. Má-li konstrukce dva hlavní nosníky, měří se průhyb obou nosníků. U mostů, které mají více hlavních nosníků, se měří průhyb všech hlavních nosníků. [2]

#### 4.7.1 Postup při statické zatěžovací zkoušce mostů

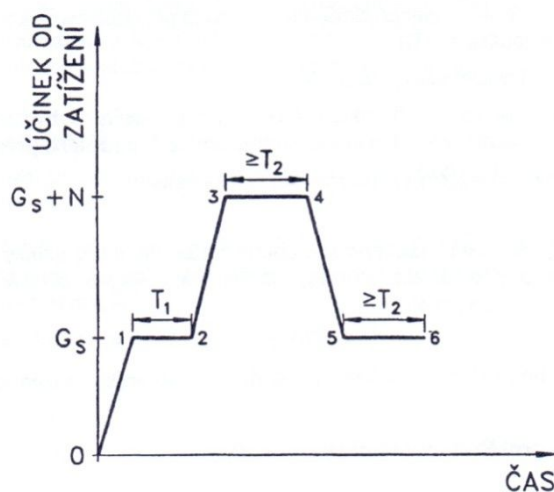
Stálé a nahodilé dlouhodobé zatížení má působit na mostní konstrukci před zatěžovací zkouškou nejméně po dobu  $T_1$  a pak po celou dobu trvání zkoušky.

Statická zatěžovací zkouška má tento průběh:

- zkušební zatížení se umístí do určené polohy v co nejkratší době bez nárazů a otřesů, buď naráz nebo v několika stupních
- zkušební zatížení musí působit na most tak dlouho, až se měřené veličiny ustálí, nejméně však po dobu  $T_2$
- odlehčuje se obvykle v jednom stupni, doba odlehčení se určuje stejně jako doba zatížení
- po dobu působení zkušebního zatížení i po odlehčení se měří sledované veličiny [2]

#### 4.7.2 Průběh statické zatěžovací zkoušky

Zkušební zatížení se umístí do určené polohy v co nejkratší době bez nárazů a otřesů (obr. 4.1). Vozidla zajedou do těchto poloh rychlostí max. 5 km/h. Zkušební zatížení musí působit na most nejméně po dobu  $T_2$ . Odlehčuje se obvykle v jednom stupni, při použití vozidel jejich odjetím z mostní konstrukce. Po dobu působení zkušebního zatížení, i po odlehčení, se měří sledované veličiny průběžně nebo ve vhodných časových intervalech. [2]



Obr. 4.1: Základní zatěžovací postup [2]



### 4.7.3 Vyhodnocení statické zatěžovací zkoušky

Zkoušená mostní konstrukce se hodnotí z hlediska spolehlivosti proti dosažení mezních stavů použitelnosti. Při výpočtu se od naměřených veličin odečítá vliv ložisek a pokles podpor. Při statické zatěžovací zkoušce se vypočítávají tyto složky účinků:

$$S_r + S_e = S_{tot}$$

kde:  $S_r$  ... trvalé účinky

$S_e$  ... pružné účinky

$S_{tot}$  ... celkové účinky [2]

V závislosti na skutečné velikosti použité zátěže  $N$ , se provede přepočet účinků:

$S_{cal}$  ... teoreticky stanovené hodnoty účinků

Dále se vyhodnocení zatěžovací zkoušky provádí podle těchto kritérií:

a)

$$\beta < \frac{S_e}{S_{cal}} \leq \alpha$$

b)

$$\frac{S_r}{S_{tot}} \leq \alpha_1$$

U nových a dosavadních přestavovaných mostních konstrukcí je možné konstrukci posuzovat podle účinků druhého zatěžování:

$$\alpha_1 < \frac{S_e}{S_{cal}} \leq \alpha_2$$

V tomto případě musí být:

$$\frac{S_r}{S_{tot}} \leq \alpha_3$$

Pokud nejsou při zkoušce splněna kritéria **a** a **b**, musí se znovu prozkoumat všechny okolnosti, které takový stav mohly způsobit.

Z hlediska spolehlivosti je konstrukce spolehlivá, jestliže:

- šířka trhlin u betonových konstrukcí nepřesahuje hodnoty uvedené v tab. 4.2
- se trhliny neobjeví při zatížení menším než 90% z teoreticky stanoveného zatížení
- se trhliny po odlehčení uzavřou na šířku menší než 1/2 hodnoty uvedené v tab. 4.2 [2]

**Tab. 4.1 Hodnoty součinitelů  $\alpha$ ,  $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$ ,  $\alpha_3$ ,  $\beta$**  <sup>[2]</sup>

konstrukce	$\alpha$	$\alpha_1$	$\alpha_2$	$\alpha_3$	$\beta$
z předpjatého betonu, ocel - beton, beton - beton	1,05	0,20	0,50	0,10	0,7
železobetonové a ocelobetonové	1,10	0,25	0,50	0,125	0,6

**Tab. 4.2 Mezní šířka trhlin** <sup>[2]</sup>

Nosné konstrukce	Třída prostředí	Mezní šířka trhlin
železobetonové	1 (suché) 2, 3 (vlhké) 4, 5	0,4
částečně předpjaté	1 2, 3 4, 5	0,2
omezeně a plně předpjaté	jakékoliv	0,0

## 4.8 DYNAMICKÁ ZATĚŽOVACÍ ZKOUŠKA

Dynamická zatěžovací zkouška se koná s takovým zkušebním zatížením, jehož účinky jsou nejvýše rovny účinkům normové hodnoty svislého zatížení od požadované hodnoty svislého zatížení. Odchylka skutečného zatížení od požadované hodnoty zkušebního zatížení nesmí přesáhnout 5 %. Při dynamické zkoušce se sleduje a zaznamenává **časový průběh zatěžovaných charakteristik sil vnášených do konstrukce při zatížení budiči, rychlost a počet současně přejíždějících vozidel a dynamická odezva od zvoleného zatížení.** <sup>[2]</sup>

Při dynamických zkouškách se určují tyto údaje:

- vlastní frekvence a jim příslušející vlastní tvary kmitání nezatížené mostní konstrukce
- časové průběhy a tvary vynuceného kmitání konstrukce
- logaritmický dekrement útlumu nezatížené mostní konstrukce
- při zkušební zátěži vozidlem se vyhodnocují dynamické přírůstky  $S_{\max}$  -  $S_m$ , rezonanční křivky, amplitudy

kde:  $S_{\max}$  ... největší hodnota dynamické odezvy

$S_m$  ... největší hodnota statické odezvy

- změřený dynamický součinitel  $\delta_{\text{obs}}$  podle vztahu:  $\delta_{\text{obs}} = \frac{S_{\max}}{S_m}$  <sup>[2]</sup>

## 5 MĚŘÍCÍ PŘÍSTROJE ZATĚŽOVACÍCH ZKOUŠEK STAVEBNÍCH KONSTRUKCÍ A MOSTŮ

### 5.1 MĚŘÍCÍ PŘÍSTROJE ZATĚŽOVACÍCH ZKOUŠEK STAVEBNÍCH KONSTRUKCÍ

U stavebních konstrukcí jsou měřeny deformace. Jedná se především o **průhyby** a **posunutí**. Deformace jsou zásadně děleny na **pružné** a **nepružné**. Vlastní měření velikosti deformací se provádí pro stanovení průběhu napětí u složitých konstrukcí a staticky náročných soustav. Jedná se o složitost jak použitých materiálů, tak v geometrickém tvaru konstrukcí. Měření skutečných deformací na modelu i reálném prvku nebo konstrukci z určitého materiálu vypovídá o dosažených hladinách napětí až tehdy, když jsou známé fyzikálně - mechanické parametry použitého materiálu. Je to především **model pružnosti** a **Poissonovo číslo**.

Při zkouškách mají být dodrženy podmínky, při kterých konstrukce působí v provozu, jiné vlivy je nutné omezit nebo k nim přihlídnout při vyhodnocení zatěžovací zkoušky. Při zkouškách ve zkušebnách je doporučeno provádět zkoušky při teplotách vyšších než  $\pm 5^{\circ}\text{C}$  a vzorek nechat temperovat min. 24 hodin. Volba zatěžovacích systémů musí zaručit přesnost  $\pm 3 \%$  u zkoušek konstrukcí, u zkoušek dílců je to  $\pm 5 \%$ . Požadovaná přesnost zjišťování hmotnosti stavebních dílců je  $2 \%$  jejich teoretické hodnoty. V praxi jsou užívány k zjišťování tíhy třmenové dynamometry s rozsahem až do 100 kN. Silové působení zkušebních břemen má být přenášeno na vzorek pomocí kloubů, většinou kulových, u plošných prvků pak válcových. Vzhledem ke tření je nutné volit klouby s malým poloměrem.

Měřicí přístroje pro měření přetvoření volíme tak, aby přípustná chyba nepřekročila  $5 \%$  očekávaného překročení v základním cyklu nebo hodnotu 0,05 mm při poklesu podpor. Měření trhlin do šířky 0,05 mm provádíme optickými přístroji (lupami) se šestinásobným zvětšením. <sup>[7]</sup>

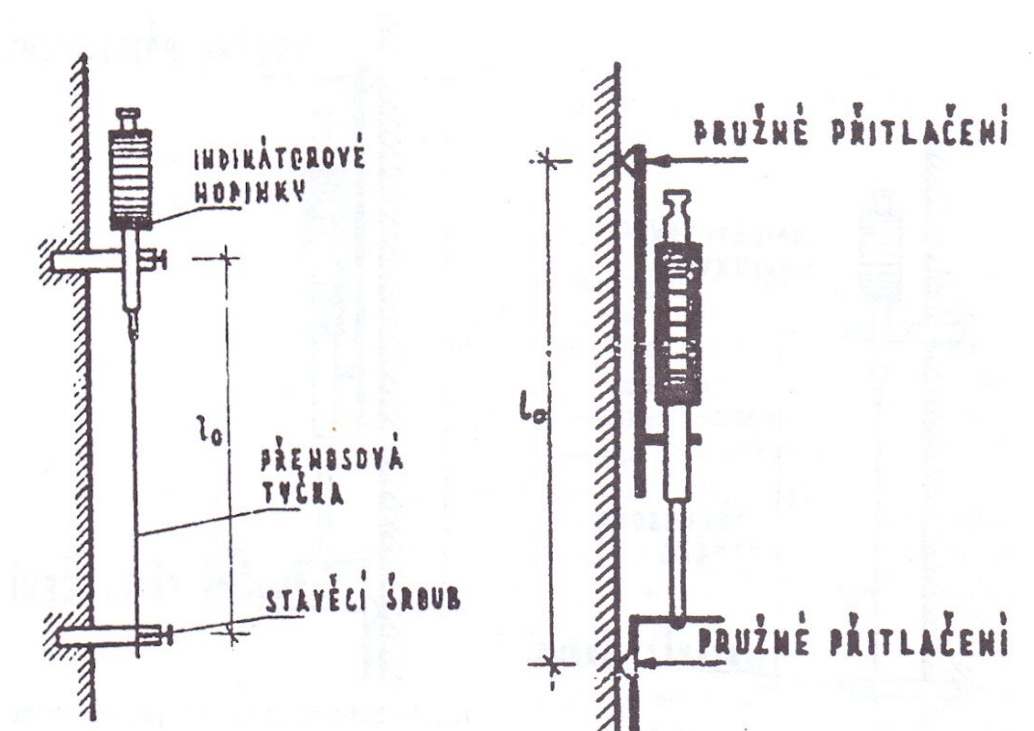
K měření průhybů a posunutí používáme celou řadu přístrojů rozdělených do skupin.

#### 5.1.1 Přístroje mechanické

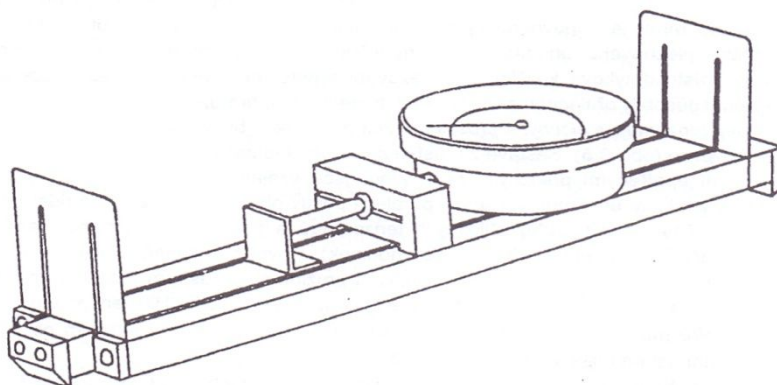
Všechny části přístroje, především přenosové a zvětšující se ústrojí, pracují na mechanickém principu. Nejdůležitější z nich jsou:

a) Přístroje na principu posuvného měřítka. Je možné u nich dosáhnout přesnosti odečtení až 0,02 mm. Skládají se z kovového měřítka s přesnou stupnicí, které se posouvá vzhledem k stupnici. Hodí se k měření velkých posuvů.

b) Mechanické tenzometry, které obecně slouží k měření relativních deformací na povrchu zkoumané konstrukce nebo v ní, z čehož se následně, pomocí Hookova zákona, dá jednoduše odvodit napětí. Je však nutné zjistit přesnou hodnotu modulu pružnosti. Mechanické tenzometry jsou **tyčové s osazenými trny přímo do konstrukce, příložný tenzometr normální** (obr. 5.1), **příložný můstkový tenzometr s plochými pružinami** (obr. 5.2).<sup>[7]</sup>



Obr. 5.1: Schéma tyčového tenzometru (vlevo) a příložného tenzometru<sup>[7]</sup>



Obr. 5.2: Můstkový tenzometr<sup>[7]</sup>

c) Indikátorové hodinky (číselníkové úchylkoměry) jsou nejvíce používaným přístrojem pro měření délkových změn a také poměrných deformací. Mají rozsah od 5 mm do 50 mm. Jejich přesnost se pohybuje okolo 1  $\mu\text{m}$ .<sup>[7]</sup>



*Obr. 5.3: Indikátorové hodinky zn. SOMET<sup>[11]</sup>*

### 5.1.2 Přístroje na hydrostatickém principu

Tyto přístroje slouží k měření výškových bodů vzhledem k pevnému nepohyblivému bodu s dostatečnou přesností a pohodlným způsobem. Způsob měření je podobný jako u měření pomocí hadicových vodovah, které pracují na principu spojitě nádoby naplněné vodou.<sup>[7]</sup>

### 5.1.3 Přístroje optické

Nejběžnějším způsobem měření svislého posuvu je nivelace pomocí **nivelačního přístroje**. Přesnost je okolo 1 mm, takže výsledky měření deformací na stavebních konstrukcích nejsou dostatečně přesné.

Dalším přístrojem je **optický tenzometr**, který pracuje na principu skleněného vlákna opatřeného odrazovou mřížkou, která je přilepena nebo jinak připevněna na konstrukci. Pomocí těchto tenzometrů se měří v oblastech velkých deformací. Při zatížení se mění velikost toku světla přes odrazovou mřížku a zbytek světla se od mřížky odráží. Jde o velmi přesný typ měření s přesností na 1  $\mu\text{m}$ . Měření je citlivé na změny teplot a vyžaduje velmi nákladný software na převod toku světla na deformace.<sup>[7]</sup>



*Obr. 5.4: Nivelační přístroj Leica RUNNER 20 <sup>[12]</sup>*

### 5.1.4 Elektrické přístroje

Pomocí řady elektrických snímačů můžeme převést úhlové a délkové změny na změny elektrických veličin (odporu, indukčnosti, kapacity, elektrického napětí, apod.).

a) Odporové snímače, které se používají často jako snímače lineárního a úhlového posunutí. Příkladem provedení tohoto snímače jsou **potenciometry** - měrným prvkem je vinutý drát nebo element vyrobený z vodivého plastu (CP) a vybavený běžcem spojeným s měřeným objektem. Pro převod pohybu konstrukce na běžec potenciometru se používá struny. Vlastní potenciometr je do měřicího obvodu zapojen buď jedním koncem běžcem, nebo všemi vývody, a měříme napětí. U drátových potenciometrů je rozlišení okolo 0,1 mm, u CP potenciometrů je okolo 0,2 mm. <sup>[7]</sup>



*Obr. 5.5: Potenciometr <sup>[13]</sup>*

b) Indukční snímače. Tyto snímače jsou založené na změně indukčnosti soustavy cívek, způsobené změnou jejich magnetického odporu. Konstrukčně jsou řešeny ve formě snímačů s malou vzduchovou mezerou, s otevřeným magnetickým obvodem a zapojeny jako jednoduché, diferenční nebo transformátorované. Jsou vhodné i pro měření rychlých průhybů při dynamických zkouškách objektů. Indukčnost cívky závisí na počtu závitů cívky. <sup>[7]</sup>



*Obr. 5.5: Indukční snímač <sup>[13]</sup>*

### 5.1.5 Strunové tenzometry

Jsou používány zvláště pro dlouhodobé sledování stavu objektů. Tyto tenzometry jsou dlouhodobě stálé, citlivé a nezávislé na délce přívodů. Principem činnosti uvedených tenzometrů je určování frekvence vlastních kmitů ocelové struny předpjaté mezi dvěma pevnými body, jejichž vzdálenost tvoří měrnou délku  $l_0$ . Frekvence kmitání je dána vztahem: <sup>[7]</sup>

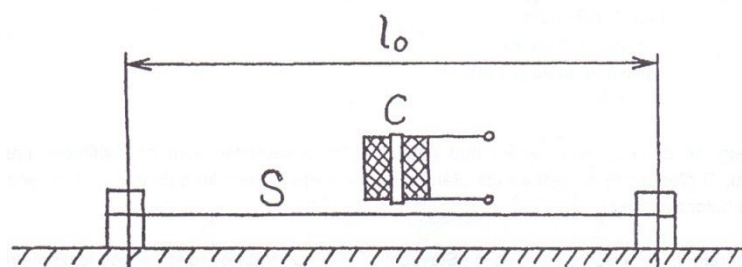
$$f = \frac{1}{2l} \sqrt{\frac{\delta}{\rho}} = \frac{1}{2l} \sqrt{\frac{E\varepsilon}{\rho}} = c\sqrt{\varepsilon}$$

kde:  $l$  ... je délka struny

$E$  ... modul pružnosti materiálu struny

$\rho$  ... měrná hmotnost materiálu struny

$\delta, \varepsilon$  ... napětí, deformace struny



*Obr. 5.6: Schéma strunového tenzometru <sup>[7]</sup>*

### 5.1.6 Elektrické tenzometry

Konstrukce elektrických tenzometrů mají dvojí formu provedení, tzv. příložné tenzometry a tenzometry odporové.

a) Příložné tenzometry - extenzometry. Provedení těchto snímačů deformace je tvořeno spojením vhodného pohybu jednoho vymezovacího břitu vůči druhému a převodu tohoto relativního pohybu na elektrický signál. Vyznačují se velkou citlivostí, širokým rozsahem a možností měření statických i dynamických deformací. Měrná délka se  $l_0$  se pohybuje od 10 do 50 mm. Příložné tenzometry slouží obvykle jako tzv. průtahoměry při určování základních charakteristik materiálů. [7]



Obr. 5.7: Tyčový extenzometr [14]

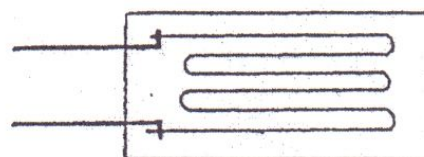
b) Odporové tenzometry - slouží pro určování deformací a napětí ve vybraných místech částí a celků konstrukcí. Převodník tvoří snímač měřící mechanickou deformaci na změnu svého elektrického odporu. Pro běžné provedení jsou vyráběny především kovové tenzometry různého provedení. Princip funkce spočívá ve změně odporu snímače způsobené změnou délky ze vztahu:

$$R = \rho \frac{l}{s}$$

kde:  $l$  ... je délka

$\rho$  ... specifický odpor

$s$  ... příčný průřez drátku



Obr. 5.8: Drátkový odporový tenzometr [7]

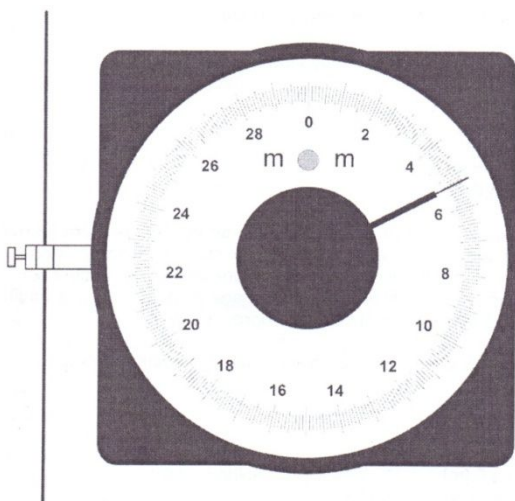


## 5.2 MĚŘICÍ PŘÍSTROJE POUŽÍVANÉ V MINULOSTI

Měřicí přístroje, metody a postupy zkoušení při zatěžovací zkoušce musely být voleny tak, aby splňovaly podmínky požadované přesností měření.

K měření deformací mostů se používal:

a) Mostní průhyboměr METRA - FRIČ. Je to mechanický přístroj s rozsahem měření 30 mm a citlivostí 0,1 mm. Přístroj se upevní k pomocné konstrukci, která nesmí být ovlivněna pohyby měřené konstrukce. V měřeném místě konstrukce se zavěsí ocelový drát a napne se zavěšením závaží. Při zkoušce konstrukce se prohne výkyvné raménko, posune se s ní i drát, a tím se přenese pohyb konstrukce k přístroji. Raménko je dvojzvratná páka, na jednom konci upevněná ke drátu závěsu. Na druhém konci má ozubený segment zapadající do ozubeného kola, kde je upevněna ručička přístroje. Stupnice je dělena na díly po 0,1 mm. Každý díl je dále rozdělen na 10 dílků, tj. 1/10 mm, což je spolehlivá přesnost přístroje. <sup>[9]</sup>



Obr. 5.9: Mostní průhyboměr METRA- FRIČ <sup>[9]</sup>

b) Číselníkový úchylkoměr. Je délkové měřidlo používané převážně pro kontrolu odchylek od předepsané míry. Velká ručka ukazuje obvykle setiny, malá ručka celé milimetry. Úchylkoměr neměří absolutní délku, ale rozdíl od výchozí nastavené hodnoty. Rozlišení může být setina nebo i tisícina milimetru. <sup>[9]</sup>



Obr. 5.10: Příklad mechanického úchylkoměru <sup>[10]</sup>

## 6 ZPŮSOB ZATĚŽOVÁNÍ STAVEBNÍCH KONSTRUKCÍ A MOSTŮ

### 6.1 ZPŮSOB ZATĚŽOVÁNÍ STAVEBNÍCH KONSTRUKCÍ

Z většiny zatěžovacích zkoušek bývá zkušební zatížení z větší části složeno užitným zatížením, které může být doplněno stálým zatížením. To představuje zatížení od souvisejících konstrukcí nebo trvalých prvků, které před zkouškou nebyly provedeny, ale statický výpočet s nimi počítá. Uložením tohoto zatížení na konstrukci s předstihem dojde k ustálení požadovaného přetvoření. Pokud užitné zatížení tvoří 20 % a méně hodnoty doplňkového zatížení, tak se může provést zatížení najednou. Zatížení, které už na konstrukci působí, jako např. vlastní tíha, se nazývá výchozí zatížení. Hodnoty jsou stanoveny v ČSN EN 1991-1-1 Zatížení stavebních konstrukcí část 1-1: obecná zatížení - objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb. [5]

Zkušební zatížení:

a) doplňkové stálé	$G_s$ [kN]
b) provozní účinné	$Q_s$ [kN]
c) extrémní účinné	$Q_d$ [kN]

Základní skutečné zatížení:

a) doplňkové stálé	$g_s$ [kN/m <sup>2</sup> ]
b) provozní účinné	$q_s$ [kN/m <sup>2</sup> ]
c) extrémní účinné	$q_d$ [kN/m <sup>2</sup> ]

Doplňkové zatížení může být doplněno o zatížení, které vyvodí stejné přetvoření konstrukce, jako účinek teploty, popř. vlhkosti. Jde o konstrukce, které jsou trvale vystavené působení teploty, popř. vlhkosti. Jedná se o konstrukce, které trvale rozdělují prostory s rozdílnými teplotami. Zkoušku lze provést, pokud účinek působí na stranu nebezpečnou. Skutečné zatížení nesmí vyvozovat odchylku od zkušebního zatížení více, jak 5 % při zkouškách in situ. [1]

#### 6.1.1 Příklady zkušebního zatížení

a) Hydraulické lisy - Zatěžování hydraulickými lisy je vhodné do podmínek, kde je možné opřít lisy o vyšší konstrukci, která svým přetvořením neovlivní průběh zkoušky. Zatížení je tvořeno bodově. Hydraulické válce jsou napojeny na centrální čerpadlo s ověřeným tlakoměrem s přesností  $\pm 1$  %.



*Obr. 6.1: Zatěžování hydraulickým lisem <sup>[15]</sup>*

b) Zásobníky s vodou - Lze s nimi nahradit spojitě zatížení a přilíváním vody je možné dosáhnout plynulého zatížení. Plochu konstrukce je možné zatěžovat jen konstantně. Zatížení ve více úrovních prakticky není možné provést. Tato metoda zatěžování je pracná a časově náročná, protože se voda musí nechat vypustit.

c) Volný materiál - Nejčastěji se jako volný materiál k zatěžování používá volně sypaný písek objemové hmotnosti  $14 - 19 \text{ kg/m}^3$ . <sup>[4]</sup> Jako volný materiál můžeme dále použít palety se stavebním materiálem (obr. 6.2). Materiál musí být rozmístěn rovnoměrně tak, aby nevytvořil samostatnou nosnou konstrukci. Při ukládání kusové zátěže by mohlo dojít ke vzniku klenby a došlo by tím k nakupení účinků v místě paty klenby.



*Obr. 6.2: Zatěžování volným materiálem <sup>[10]</sup>*

d) Betonová závaží - Lze s ním přesně nahradit plošné zatížení. Kusy betonové zátěže se pokládají na zatěžovací plochu a musí mít takové parametry, aby celkové zkušební zatížení splňovalo požadovanou přesnost.



*Obr. 6.3: Zatěžování betonovým závažím <sup>[10]</sup>*

## 6.2 ZPŮSOB ZATĚŽOVÁNÍ MOSTNÍCH KONSTRUKCÍ

Zkušební zatížení se uspořádá na zkoušeném mostě tak, aby na měřených místech konstrukce vyvozovalo co největší účinky. U mostů pozemních komunikací se zatížení umisťuje při obrubníku, uprostřed vozovky nebo po celé její šířce podle ČSN 6203. Zkouška se uspořádá tak, aby bylo možné porovnat předpoklady skutečného statického působení mostní konstrukce s předpoklady uvažovanými v návrhu. Odchylka skutečného zatížení od požadované hodnoty zatížení by neměla přesáhnout 5 %. Pro zatěžování mostů se použije zkušební zatížení, které vyvodí na konstrukci účinky o velikosti: <sup>[2]</sup>

$$U_N = kU_{V_s}$$

$N$  - zkušební zatížení

$V_s$  - normová hodnota svislého nahodilého krátkodobého zatížení

$U_N$  - statický účinek od zkušebního zatížení  $N$

$U_{V_s}$  - statický účinek od normové hodnoty svislého nahodilého zatížení včetně dynamického součinitele  $\delta$

$k$  - účinnost, která se pro statické zkoušky označuje  $k_{\text{stat}}$  a pro dynamické zkoušky  $k_{\text{dyn}}$  <sup>[5]</sup>

$$0,5 < k_{\text{stat}} \leq 1,0$$

$$k_{\text{dyn}} \leq 1$$

### 6.2.1 Příklady zkušebního zatížení pro statické zatěžovací zkoušky

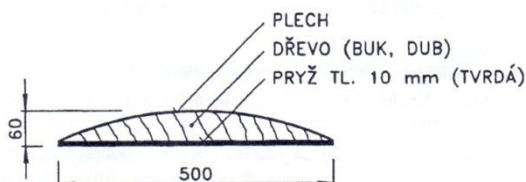
- a) Lokomotivy, vagóny, kolejové jeřáby - používají se při zatěžování drážních mostů.
- b) Silniční a nákladní auta, stavební stroje, zásobníky s vodou - používají se při zatěžování pozemních komunikací, lávek pro chodce a cyklisty. <sup>[5]</sup>



*Obr. 6.4: Zatěžování nákladním autem*

### 6.2.2 Příklady zkušebního zatížení pro dynamické zatěžovací zkoušky

- a) Budič kmitů s měnitelnou frekvencí, impulzní raketové motory, odlehčení mostu náhlým uvolněním břemene, buchar.
- b) Vhodná vozidla, která se pohybují po mostě.
- c) Přejezdem umělé nerovnosti silničním vozidlem.
- d) Osoby, cyklisté - osob se využívá při zatěžování lávek.



*Obr. 6.5: Umělá nerovnost <sup>[2]</sup>*

## **7 PŘÍKLAD ZATĚŽOVACÍ ZKOUŠKY ŽELEZOBETONOVÉ STROPNÍ KONSTRUKCE**

### **7.1 ÚVOD**

Jedná se o zkoušky železobetonové monolitické skeletové stropní konstrukce, které byly realizovány v polyfunkčním domě v areálu budovaného komplexu Jihlavské terasy, Havlíčkova 30, Jihlava. Zkoušky byly provedeny v 6.NP objektu SO.07. Jde o zkoušky stávající konstrukce a na jejich základě se dále rozhodne, zda bude nutné konstrukci sanovat buď pouze povrchově, nebo bude nutný zásah do statiky konstrukce.

Při realizaci zakázky byly prováděny následující úkony:

- 1) zatěžovací rozvaha dle požadované zatížitelnosti dílčích konstrukcí (deska, žebro, průvlak)
- 2) příprava zatěžovacích sestav pro jednotlivé typy zkoušek
- 3) provedení zatěžovací zkoušky stropní desky v celkovém počtu 6 ks
- 4) provedení zatěžovací zkoušky stropního žebra v celkovém počtu 3 ks
- 5) provedení zatěžovací zkoušky stropních průvlaků v celkovém počtu 3 ks

V předkládané zprávě je podrobně komentován navrhovaný rozsah a způsob zkoušení posuzovaných konstrukcí, který je v souladu s metodickými pokyny ČSN 73 2030 <sup>[1]</sup> a ČSN 73 2031.

### **7.2 PŘEDMĚT A POPIS SLEDOVANÉ KONSTRUKCE**

Předmětem předkládané závěrečné zprávy je příprava, provedení a vyhodnocení dílčích zatěžovacích zkoušek vodorovných nosných prvků skeletové železobetonové monolitické konstrukce v 6.NP objektu. V rámci prováděných příprav byly konkrétní schémata jednotlivých zatěžovacích sestav, včetně metodiky provádění zatěžovacích zkoušek, průběžně konzultovány se specialisty z projekční kanceláře A+Z projekt.

Objekt SO.07 je železobetonový monolitický skelet vybudovaný ve 30. letech 20. století. Stáří objektu je cca 75 let. Jedná se o šestipodlažní objekt, kdy nosný systém je tvořen nosnými železobetonovými sloupy o příčných rozměrech 300 x 300 mm; příčným průvlakovým systémem s náběhy o rozpětí cca 7,35 m a rozměrech h=450mm, b=220mm; podélnými nosnými žebry s osovou vzdáleností 3,2 m o rozměrech h=250mm, b=150mm a mezižebními stropními deskami tloušťky cca 60 mm. Střešní nosná konstrukce krovu je železobetonová monolitická.



Předmětná nosná konstrukce nevykazuje výraznější poruchy statického charakteru, v příčném směru jsou patrný pravděpodobně trhliny v mezižebních deskách od reologických vlastností betonu (zejména je tímto míněno jeho smršťování).<sup>[10]</sup>

### 7.3 ÚČEL ZATĚŽOVACÍCH ZKOUŠEK

Účelem prováděných zatěžovacích zkoušek vodorovných nosných konstrukcí nad 5.NP předmětného objektu je prokázat na základě předepsaných hodnot plošného, popř. liniového zatížení, včetně stávající vlastní tíhy dílčích konstrukčních celků, jejich spolehlivost z hlediska mezních stavů použitelnosti dle požadavků uvedených v ČSN 73 2030<sup>[1]</sup>.

### 7.4 METODIKA PROVÁDĚNÍ ZATĚŽOVACÍCH ZKOUŠEK

#### 7.4.1 Provedení zatěžovací zkoušky

Zatěžovací zkouška má být provedena tak, aby byly pokud možno omezeny vlivy, které by mohly nepříznivě ovlivnit nebo zkreslit výsledek zatěžovací zkoušky. Pokud tyto vlivy nelze odstranit, je nutno je pečlivě během zkoušky monitorovat a přihlídnout k nim při vlastním vyhodnocení zatěžovací zkoušky. Měřicí přístroje, metody a postupy zkoušení při zatěžovací zkoušce musí být voleny tak, aby splňovaly podmínky nezkresleného zobrazení a odpovídaly požadované přesnosti měření.<sup>[10]</sup>

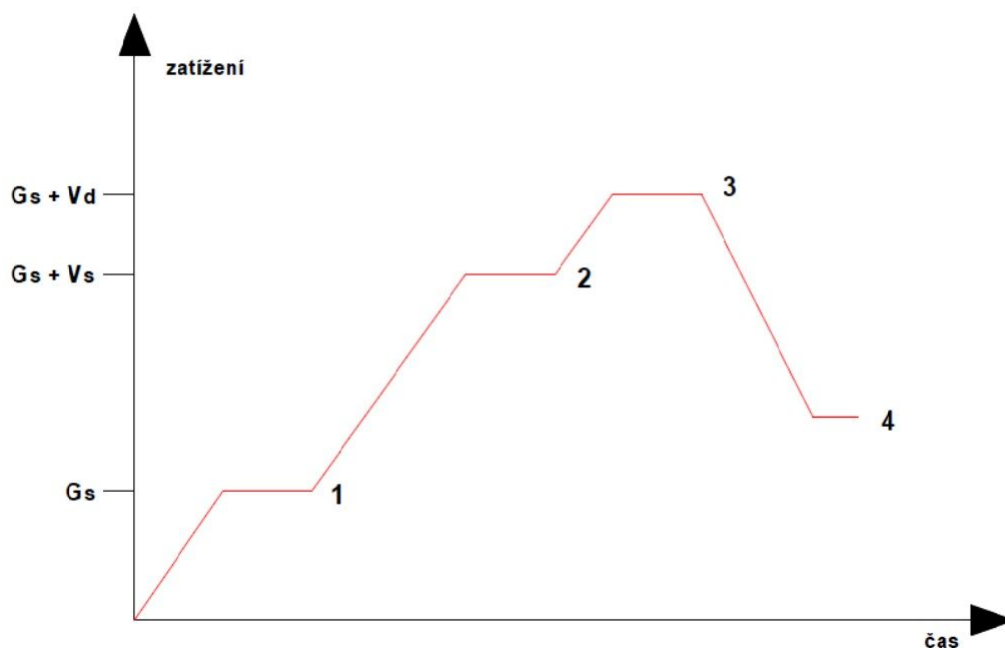
#### 7.4.2 Zatěžovací postup

a) konstrukce, která při začátku zkoušky je zatížena vlastní tíhou, popř. tíhou zkušebního zatížení, se zatíží na hodnotu  $G_s$  (bod 1), která odpovídá hodnotě stálého zatížení působícího na konstrukci.

b) hodnota zatížení v bodě 1 je dále navýšena o hodnotu zatížení odpovídající hodnotě provozního stálého a nahodilého zatížení  $G_s + V_s$  (bod 2)

c) po odečtení hodnot deformací zvýšíme na hodnotu zatížení odpovídající součtu provozního stálého a extrémního nahodilého zatížení  $G_s + V_d$  (bod 3)

d) odtížíme na hodnotu stálého zatížení  $G_s$  (bod 4)



Obr. 7.1: Teoretické schéma provádění zatěžovací zkoušky<sup>[10]</sup>

### 7.4.3 Vyhodnocení zatěžovací zkoušky

Při zatěžovací zkoušce je zkoušená konstrukce spolehlivá za předpokladu, splňuje-li tato kritéria:

- celková maximální deformace příslušné části konstrukce nepřekročí limitní (požadovanou) hodnotu přípustné deformace
- při zatížení hodnotou  $G_s + V_d$  a následném odtížení na hodnotu  $G_s$  musí být poměr mezi trvalou a celkovou deformací menší než  $\lambda_1$  (viz kap. 3.9 b).

### 7.4.4 Záznam měření

Jednotlivé hodnoty průhybů budou sledovány prostřednictvím potenciometrických snímačů deformací pod kódovým označením MS04 s citlivostí měření 0,01mm. Snímače budou umístěny vždy o patro níže než zkoušený strop a s předmětným zkoušeným prvkem budou spojeny invarovými dráty uchycenými do mechanických kotev (hmoždinka s upevňujícím vrutem) na dolním líci zkoušeného prvku. Poměrné přetvoření svislého nosného prvku (sloupu) bude v případě provádění zatěžovací zkoušky sledováno mechanickým tenzometrem o základně 200 mm osazenou snímačem HBM TT1 s citlivostí měření 0,001 mm.

Veškeré snímače použité při experimentální analýze dílčích konstrukčních celků budou připojeny k osmi kanálové měřící ústředně HBM Spider 8, která bude přes USB



port propojena s vyhodnocovací a záznamovou jednotkou (PC). Data budou snímána s ohledem na typ a charakter zatěžovací zkoušky (statická zatěžovací zkouška) ve frekvenci záznamu 1 - 2 Hz. Veškerá data budou exportována do programu MS Excel k následnému zpracování a tabelárnímu a grafickému vyhodnocení. <sup>[10]</sup>

## 7.5 ZATÍŽENÍ ZKOUŠENÝCH PRVKŮ

### *Stropní desky*

Zatížení celkem šesti stropních desek bylo realizováno formou plošného zatížení o předepsané intenzitě. V průběhu zatěžovací zkoušky byly pro vyhodnocení zatěžovací zkoušky sledovány následující zatěžovací stavy:

- a) zatížení na hodnotu stálého zatížení  $G_s = 1,5 \text{ kNm}^{-2}$
- b) zatížení na hodnotu provozního nahodilého zatížení  $G_s + V_s = 8,1 \text{ kNm}^{-2}$
- c) zatížení na hodnotu provozního nahodilého zatížení  $G_s + V_d = 10,1 \text{ kNm}^{-2}$
- d) odtížení na hodnotu stálého zatížení  $G_s = 1,5 \text{ kNm}^{-2}$

### *Stropní žebra*

Zatížení celkem tří stropních žebek bylo realizováno formou liniového zatížení o předepsané intenzitě. V průběhu zatěžovací zkoušky byly pro vyhodnocení zatěžovací zkoušky sledovány následující zatěžovací stavy:

- a) zatížení na hodnotu stálého zatížení  $G_s = 2,7 \text{ kNm}^{-1}$
- b) zatížení na hodnotu provozního nahodilého zatížení  $G_s + V_s = 10,8 \text{ kNm}^{-1}$
- c) zatížení na hodnotu provozního nahodilého zatížení  $G_s + V_d = 13,2 \text{ kNm}^{-1}$
- d) odtížení na hodnotu stálého zatížení  $G_s = 2,7 \text{ kNm}^{-1}$

### *Stropní průvlaky*

Zatížení celkem tří stropních průvlaků bylo realizováno formou liniového zatížení o předepsané intenzitě. V průběhu zatěžovací zkoušky byly pro vyhodnocení zatěžovací zkoušky sledovány následující zatěžovací stavy:

- a) zatížení na hodnotu stálého zatížení  $G_s = 14,4 \text{ kNm}^{-1}$
- b) zatížení na hodnotu provozního nahodilého zatížení  $G_s + V_s = 19,2 \text{ kNm}^{-1}$
- c) zatížení na hodnotu provozního nahodilého zatížení  $G_s + V_d = 20,7 \text{ kNm}^{-1}$
- d) odtížení na hodnotu stálého zatížení  $G_s = 14,4 \text{ kNm}^{-1}$

Jednotlivé zatěžovací rozvahy konstrukčních celků předmětného objektu vychází z požadovaných hodnot stálého a nahodilého zatížení, jejichž hodnoty byly stanoveny na základě projektové dokumentace. <sup>[10]</sup>

## 7.6 POPIS ZKOUŠENÝCH PRVKŮ

Stropní desky - pro účely tohoto příkladu byla použita pouze stropní deska D1

### ***Stropní deska D1***

Předmětná stropní deska s označením D1 se nachází v sektoru mezi sloupy řad 6 - 7 v příčném směru a A - B ve směru podélném. Stropní deskou vede podélná trhlina ve směru předpokládaného vyztužení na ohybovou únosnost. <sup>[10]</sup>

Stropní žebra - pro účely tohoto příkladu bylo použito pouze stropní žebro Z1

### ***Stropní žebro Z1***

Stropní žebro Z1 bylo zkoušeno uprostřed sektoru A - B mezi sloupy v řadě 20 - 21. Na povrchu žebra nebyly patrné větší známky poškození ať mechanického, či jiného typu. Částečně do žebra zabíhá trhlina ze stropní desky. <sup>[10]</sup>

Stropní průvlaky - pro účely tohoto příkladu byl použit pouze stropní průvlak P1

### ***Stropní průvlak P1***

Stropní průvlak P1 byl zatěžován v sektoru B - C ve sloupové řadě 8. Stropní průvlak nevykazoval před započítáním zatěžovací zkoušky žádné typy poškození (trhliny, mechanické poškození apod.). <sup>[10]</sup>

## 7.7 HODNOCENÍ VÝSLEDKŮ ZATĚŽOVACÍCH ZKOUŠEK

Ve smyslu ČSN 73 2030 <sup>[1]</sup> čl. 3.1 bylo účelem realizovaných zatěžovacích zkoušek posouzení spolehlivosti stávajících vodorovných nosných konstrukcí v případě, že není možno bezpečně zjistit všechny potřebné parametry pro výpočet.

Ve smyslu ČSN 73 2030 <sup>[1]</sup> čl. 3.2.1 se jedná o zatěžovací zkoušky prováděné bez dosažení únosnosti posuzovaných konstrukčních prvků.

Při zatěžovací zkoušce bez dosažení meze únosnosti je zkoušený prvek spolehlivý z hlediska mezního stavu únosnosti, splňuje-li kritérium b) čl. 6.3 ČSN 73 2030 <sup>[1]</sup>. Pro realizované zatěžovací zkoušky ve smyslu bodu b) zmíněného článku je interpretace kritéria následující: při zatížení na hodnotu odpovídající provozní součtu hodnot stálého a extrémní hodnoty nahodilého (užitného) zatížení a následném odlehčení je poměr mezi trvalým a celkovým přetvořením (průhybem) menší než  $\lambda 1$  (viz dílčí hodnoty vyhodnocení jednotlivých typů konstrukcí). <sup>[10]</sup>

Zatěžovací zkoušky byly realizovány na konstrukcích reálně zatížených stálým zatížením od vlastní tíhy konstrukčních prvků a stávající skladby podlah.

Ve smyslu čl. 4.1 bod f) a čl. 6.3 až 6.6 ČSN 73 2030 <sup>[1]</sup> byla zvolena pro vyhodnocení zkoušek následující kritéria:

- a) Trvalá deformace po odtížení zatěžovaného prvku je menší než hodnota součinitele  $\lambda_1$ , která je proměnná dle jednotlivých zatěžovacích stavů a je určována dle vzorce (viz kap. 3.9 b).
- b) Na zkoušeném prvku nevzniknou smykové nebo tahové trhliny větší než 0,2 mm.

V případě zjištění neshody s některým z výše uvedených kritérií je výsledek zkoušky považován a hodnocen jako nevyhovující.

Z hlediska vyhodnocení zatěžovací zkoušky se budeme zabývat pouze vyhodnocením zatěžovací zkoušky stropních průvlaků. <sup>[10]</sup>

### Stropní průvlak

V průběhu zatěžovacích zkoušek stropních průvlaků nebyly zaznamenány nové trhliny při postupném zatížení. Celkové hodnoty naměřených deformací se pohybují v řádu menším nežli 1/2500 světlého rozpětí zkoušeného prvku. <sup>[10]</sup>

Tab. 7.1 Vyhodnocení zatěžovacích zkoušek stropních průvlaků <sup>[10]</sup>

popis měřeného místa	deformace prvku					vyhodnocení			maximální naměřená hodnota deformace	
	ZATÍŽENÍ  stálé	ZATÍŽENÍ nahodilé extrémní	ODTÍŽENÍ  stálé	trvalá deformace	celková deformace	poměr trvalé a celkové deformace	součinitel λ <sub>1</sub>	hodnocení (kritérium)		
				S <sub>r</sub>	S <sub>tot</sub>					
		[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[-]	[-]	[-]	snímač
P1	1.421	2.419	1.624	0.203	0.998	0.203	0.259	VYHOVUJE	3	2.724
P2	1.363	2.282	1.549	0.186	0.919	0.202	0.259	VYHOVUJE	3	2.563
P3	1.297	2.191	1.501	0.203	0.893	0.228	0.259	VYHOVUJE	3	2.495

## 7.8 DÍLČÍ ZÁVĚRY

### Stropní desky

Z šesti provedených zatěžovacích zkoušek na stropních deskách byl jeden ze zkoušených prvků stanoven nevyhovující z hlediska poměru trvalé k celkové deformaci.

Zkoušce nevyhověla stropní deska s označením D6. Limitní hodnota poměru těchto deformací byla překročena cca o 2,8 %.

V kapitole 7 v tab. 7.1 je provedeno vyhodnocení parametrů. Pro porovnání s ostatními zkoušenými stropními deskami lze prohlásit tuto stropní desku z hlediska maximálních dosažených deformací nejvíce odolávající deformacím, což může být považováno za výrazně přilepšující aspekt ke globálnímu nahlédnutí ke spolehlivosti stropních desek jako souhrnného souboru.

Z tohoto titulu lze stropní desky prohlásit jako spolehlivé pro navrhované intenzity zatížení, ovšem s těmito výhradami a doporučujícími podmínkami:

- a) stropní desky s trhlinami rovnoběžně s předpokládaným směrem pečlivě vizuálně prohlédnout a v případě významně širokých trhlin provést účinné statické zajištění
- b) u stropních desek s obousměrně orientovanými trhlinami navrhnout vhodné statické zajištění
- c) v případě desky D6 a přilehlého okolí provést podrobnou vizuální prohlídku a v případě pochybností provést účinná protipatření zajišťující spolehlivost dané části konstrukce <sup>[10]</sup>

### ***Stropní žebra***

V případě zatěžovacích zkoušek stropních žebor byla na všech třech prvcích prokázána dostatečná spolehlivost konstrukce vzhledem k požadovaným kritériím.

Stropní žebra lze z hlediska navrhované intenzity zatížení prohlásit za spolehlivé. V rámci bezpečného užívání v delším časovém horizontu lze doporučit následující kroky:

- a) vizuálně zkontrolovat míru poškození trhlinami jednotlivých stropních žebor
- b) žebra v místě poškozených stropních desek, kdy trhlina v desce pokračuje i přes stropní žebro, staticky zajistit
- c) provést detailnější prohlídku stropních žebor v místě nevyhovující stropní desky D6 <sup>[10]</sup>

### ***Stropní průvlaky***

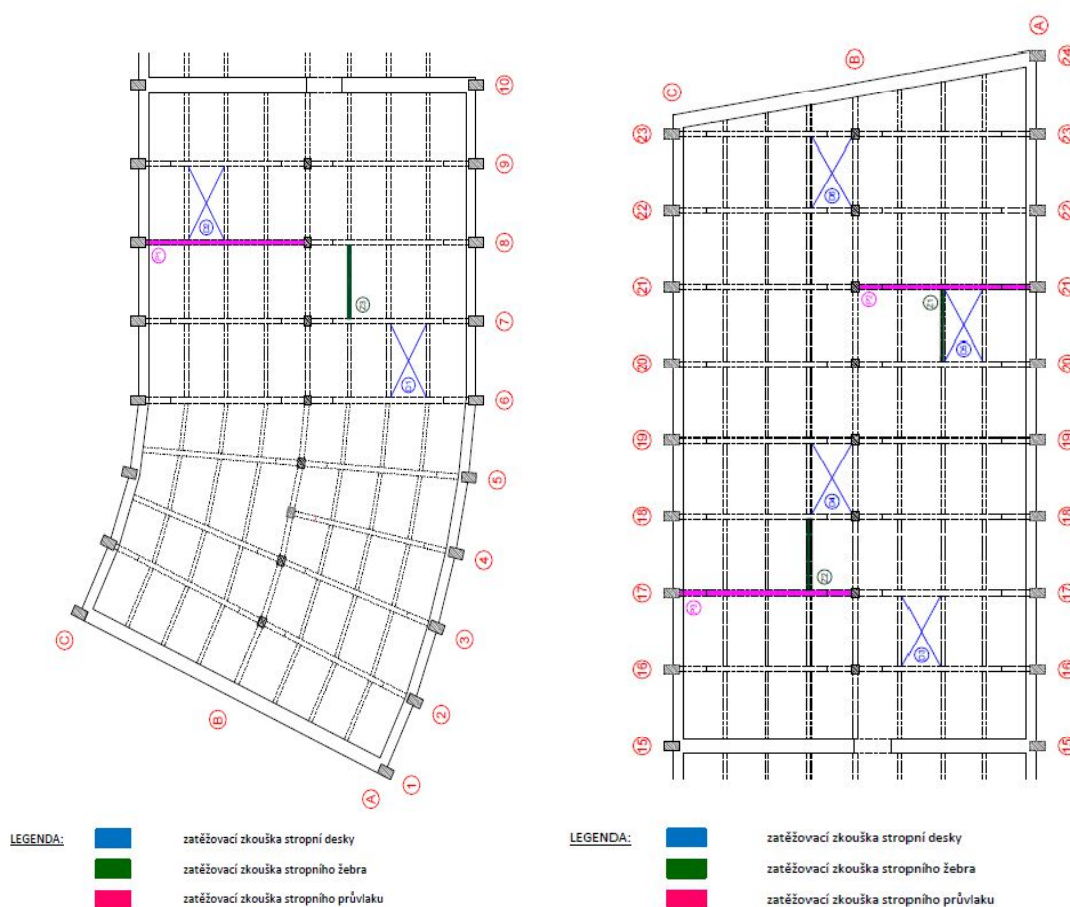
V případě zatěžovacích zkoušek stropních průvlaků byla na všech třech prvcích prokázána dostatečná spolehlivost konstrukce vzhledem k požadovaným kritériím.

Stropní průvlaky lze z hlediska navrhované intenzity zatížení prohlásit za velmi spolehlivé. V rámci bezpečného užívání v delším časovém horizontu lze tyto průvlaky ponechat v původním stavu. <sup>[10]</sup>

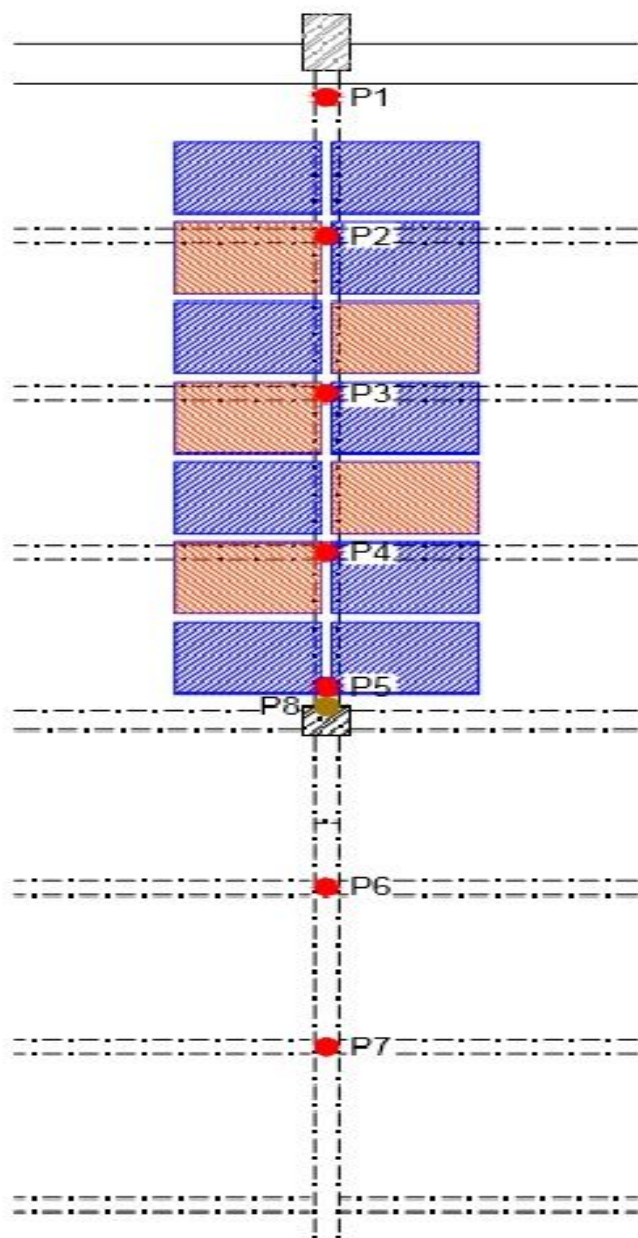
## 7.9 CELKOVÉ ZÁVĚRY, OBECNÁ DOPORUČENÍ, PODMÍNKY PLATNOSTI ZATĚŽOVACÍCH ZKOUŠEK

- a) z komplexního hlediska lze provedené zatěžovací zkoušky předmětných nosných konstrukcí hodnotit jako vyhovující pro dané intenzity stálých a užitných zatížení
- b) doporučuje se provést nutné sanační úpravy povrchu betonu, včetně lokálního statického zajištění v místě výskytu významnějších trhlin
- c) veškeré stavební úpravy nosné stropní konstrukce, popř. zásahy do ní (prostupy, otvory, atd.), bezpodmínečně konzultovat se statikem
- d) platnost zatěžovacích zkoušek je vztažena pouze k plánovaným stavebním úpravám, jejichž podkladem je projekt pro stavební povolení z data 07/2010 výkres č. 207, na jehož základě byly provedeny zatěžovací rozvahy jednotlivých prvků
- e) v případě možného navýšení zatížení je nutno toto dále konzultovat se statikem, popř. provést doplňkové zatěžovací zkoušky či stavebně technický průzkum <sup>[10]</sup>

## 7.10 VÝKRESOVÁ DOKUMENTACE



Obr. 7.2: Zatěžovací zkoušky stropních prvků v objektu S07 <sup>[10]</sup>

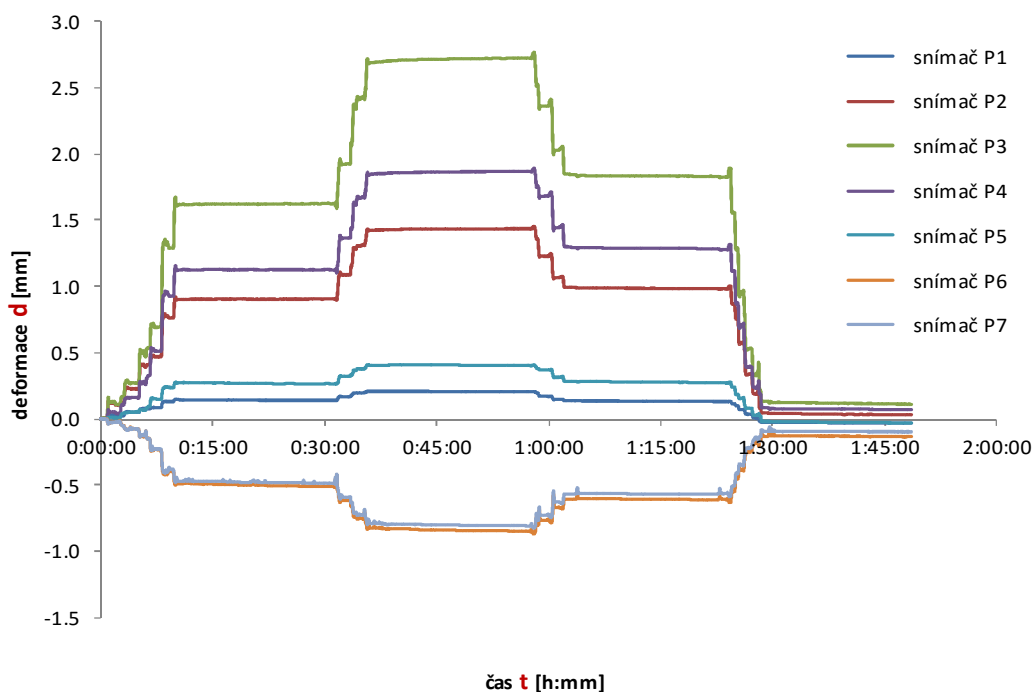


Obr. 7.3: Schéma zatěžovací sestavy stropního průvlaku se snímači deformací <sup>[10]</sup>

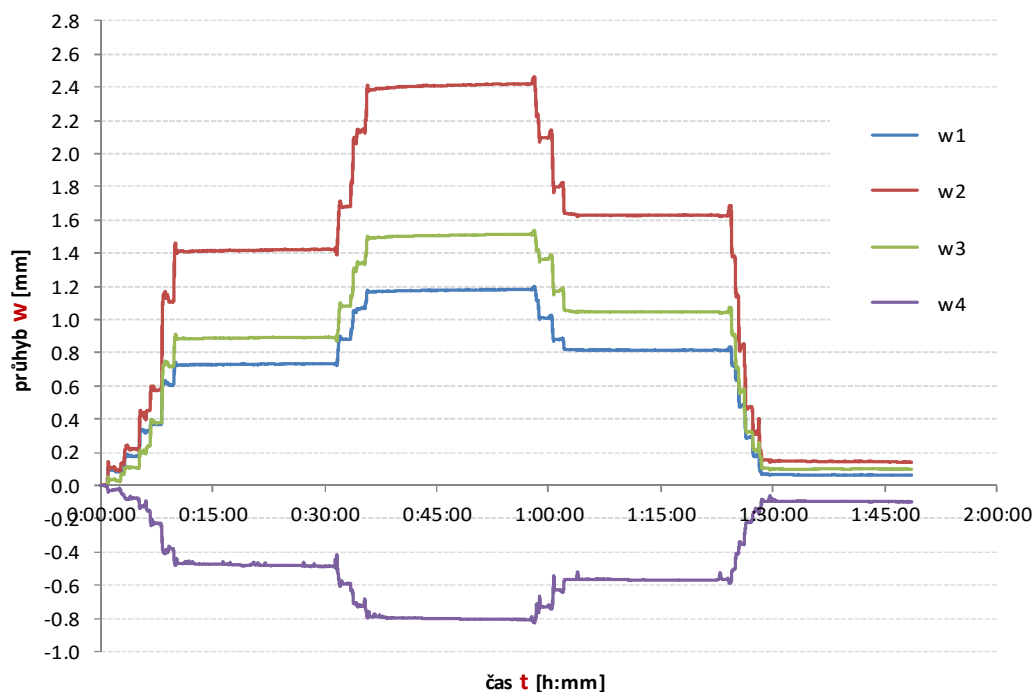
Tab. 7.2 Sestava zatížení pro provedení zkoušek stropních průvlaků <sup>[10]</sup>

zatěžovací sestava stropního průvlaku	zatěžovací krok	liniové zatížení [kNm <sup>-1</sup> ]	celkové zatížení sestavy [kN]	celková hmotnost břemen [kg]	počet sestav [ks]	požadov. hmotnost palety [kg]	skutečná hmotnost palety [kg]	požadov. hmotnost palety [%]	skutečná hmotnost palety [%]
Zatížení stálé	1	14.40	107.28	10936	9	1215	1220	100	100
Užitné provozní:	2	4.80	35.76	3645	5	729	735	100	101
Užitné extrémní:	3	1.50	11.175	1139	5	228	235	100	103
<b>Celkem:</b>		<b>20.70</b>	<b>154.22</b>	<b>15720</b>		<b>2172</b>	<b>2190</b>	<b>100</b>	<b>101</b>

## 7.11 VÝSTUPY ZATĚŽOVACÍ ZKOUŠKY STROPNÍHO PRŮVLAKU P1



Graf. 7.1: Záznam sledovaných hodnot deformací v průběhu zatěžování stropního průvlaku P1 <sup>[10]</sup>



Graf. 7.2: Hodnoty deformací stropního průvlaku P1 po odečtení poklesu v podporách <sup>[10]</sup>



## 7.12 FOTODOKUMENTACE



**Obr. 7.4:** Pohled na snímače deformací (vlevo), plný stav zatížení  $10,1 \text{ kNm}^{-1}$  (vpravo) <sup>[10]</sup>



**Obr. 7.5:** Přípravné snímače deformací (vlevo), sestava liniového zatížení  $13,20 \text{ kNm}^{-1}$  (vpravo) <sup>[10]</sup>



**Obr. 7.6:** Přípravné snímače deformací (vlevo), zatěžovací sestava průvzlaku  $20,7 \text{ kNm}^{-1}$  (vpravo) <sup>[10]</sup>



## **8 PŘÍKLAD ZATĚŽOVACÍ ZKOUŠKY STROPNÍ KONSTRUKCE V PRŮBĚHU SANAČNÍCH PRACÍ**

### **8.1 ÚVOD**

Jedná se o zkoušky železobetonové monolitické skeletové stropní konstrukce, které byly realizovány v polyfunkčním domě v areálu budovaného komplexu Jihlavské terasy, Havlíčkova 30, Jihlava. Zkoušky byly provedeny nad 1.PP v objektu SO.04. Jde o zatěžovací zkoušky konstrukce v průběhu sanačních prací z důvodu zjištění závažných závad na železobetonové desce. <sup>[10]</sup>

### **8.2 PŘEDMĚT A POPIS SLEDOVANÉ KONSTRUKCE**

Předmětem předkládané závěrečné zprávy je příprava, provedení a vyhodnocení zatěžovací zkoušky železobetonové monolitické stropní konstrukce nad 1. PP objektu SO.04 - c v areálu budovaného komplexu Jihlavské terasy, Havlíčkova 30, Jihlava.

V rámci prováděných příprav byly konkrétní schémata jednotlivých zatěžovacích sestav průběžně konzultovány se specialisty z projekční kanceláře A+Z projekt. Konkrétní zatěžovací sestavy, rozmístění snímačů deformací a způsob zatěžování dílčích konstrukčních prvků jsou podrobně popsány v samostatné příloze.

Jedná se o novou železobetonovou stropní desku vyztuženou běžnou betonářskou výztuží. Deska je dle projektové dokumentace obousměrně pnutá o celkové tloušťce 220 mm. Stropní deska byla vybetonována dne 13.11.2012. <sup>[10]</sup>

### **8.3 ÚČEL ZATĚŽOVACÍCH ZKOUŠEK**

Při odbednění desky byly zjištěny vady na spodním líci desky, a to zejména nedostatečné krytí výztuže (výztuž byla při betonáži „utopena“ a po odbednění se výrazně prokresluje na spodním povrchu).

Účelem prováděných zatěžovacích zkoušek předmětné konstrukce je prokázat její spolehlivost na základě předepsaných hodnot plošného zatížení, včetně stávající vlastní tíhy dílčích konstrukčních celků, z hlediska mezních stavů použitelnosti dle požadavků uvedených v ČSN 73 2030. <sup>[1]</sup>

## 8.4 METODIKA PROVÁDĚNÍ ZATĚŽOVACÍCH ZKOUŠEK

Provedení zatěžovací zkoušky, zatěžovací postup a vyhodnocení zkoušky je stejné jako - viz kap. 7.4.

## 8.5 ZATÍŽENÍ ZKOUŠENÝCH PRVKŮ

### *Stropní deska, sestava A*

Zatížení stropní desky v předepsaném místě A bylo realizováno formou plošného zatížení o předepsané intenzitě. V průběhu zatěžovací zkoušky byly pro vyhodnocení zatěžovací zkoušky sledovány následující zatěžovací stavy:

- a) zatížení na hodnotu stálého zatížení  $G_s = 2,70 \text{ kNm}^{-2}$
- b) zatížení na hodnotu provozního nahodilého zatížení  $G_s + V_s = 7,70 \text{ kNm}^{-2}$
- c) zatížení na hodnotu provozního nahodilého zatížení  $G_s + V_d = 10,2 \text{ kNm}^{-2}$
- d) odtížení na hodnotu stálého zatížení  $G_s = 2,70 \text{ kNm}^{-2}$

### *Stropní deska, sestava A+B*

Zatížení stropní desky v předepsaném místě A + B bylo realizováno formou plošného zatížení o předepsané intenzitě. V průběhu zatěžovací zkoušky byly pro vyhodnocení zatěžovací zkoušky sledovány následující zatěžovací stavy:

- a) zatížení na hodnotu extrémního nahodilého zatížení v poli A -  $10,2 \text{ kNm}^{-2}$
- b) zatížení na dosaženou hodnotu ve 2/3 pole B nahodilého zatížení -  $5,40 \text{ kNm}^{-2}$

## 8.6 HODNOCENÍ VÝSLEDKŮ ZATĚŽOVACÍCH ZKOUŠEK

Ve smyslu ČSN 73 2030 <sup>[1]</sup> čl. 3.1 bylo účelem realizovaných zatěžovacích zkoušek posouzení spolehlivosti stávajících vodorovných nosných konstrukcí v případě, že není možno bezpečně zjistit všechny potřebné parametry pro výpočet.

Ve smyslu ČSN 73 2030 <sup>[1]</sup> čl. 3.2.1 se jedná o zatěžovací zkoušky prováděné bez dosažení únosnosti posuzovaných konstrukčních prvků.

Při zatěžovací zkoušce bez dosažení meze únosnosti je zkoušený prvek spolehlivý z hlediska mezního stavu únosnosti, splňuje-li kritérium b) čl. 6.3 ČSN 73 2030 <sup>[1]</sup>. Pro realizované zatěžovací zkoušky ve smyslu bodu b) zmíněného článku je interpretace kritéria následující: při zatížení na hodnotu odpovídající provozní součtu hodnot stálého a extrémní hodnoty nahodilého (užitného) zatížení a následném odlehčení je poměr mezi

trvalým a celkovým přetvořením (průhybem) menší než  $\lambda_1$  (viz dílčí hodnoty vyhodnocení jednotlivých typů konstrukcí).

Zatěžovací zkoušky byly realizovány na konstrukcích reálně zatížených stálým zatížením od vlastní tíhy konstrukčních prvků a stávající skladby podlah.

Ve smyslu čl. 4.1 bod f) a čl. 6.3 až 6.6 ČSN 73 2030 <sup>[1]</sup> (viz předcházející text tohoto oddílu) byla zvolena pro vyhodnocení zkoušek následující kritéria:

- a) Trvalá deformace po odtížení zatěžovaného prvku je menší než hodnota součinitele  $\lambda_1$ , která je proměnná dle jednotlivých zatěžovacích stavů a je určována dle uvedeného vzorce.
- b) Na zkoušeném prvku nevzniknou smykové nebo tahové trhliny větší než 0,2 mm.

V případě zjištění neshody s některým z výše uvedených kritérií je výsledek zkoušky považován a hodnocen jako nevyhovující. <sup>[10]</sup>

### ***Stropní deska v sestavě A***

V průběhu zatěžovacích zkoušek stropní desky nebyly zaznamenány trhliny při postupném zatížení. Celkové hodnoty naměřených deformací se pohybují v hodnotách do 2 mm, což je hodnota výrazně nižší nežli 1/600 světlého rozpětí zkoušeného prvku v kratším rozponu. <sup>[10]</sup>

**Tab. 8.1 Vyhodnocení zatěžovacích zkoušek stropní desky v sestavě A <sup>[10]</sup>**

popis měřeného místa	deformace prvku						vyhodnocení		
	ZATÍŽENÍ	ZATÍŽENÍ	ZATÍŽENÍ	ODTÍŽENÍ			poměr trvalé a celkové deformace	součinitel $\lambda_1$	hodnocení (kritérium)
	stálé	nahodilé provozní	nahodilé extrémní	stálé	trvalá deformace	celková deformace			
					$S_r$	$S_{tot}$	$S_r / S_{tot}$	$\lambda_1$	$S_r / S_{tot} < \lambda_1$
	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[-]	[-]	[-]
snímač 1	0.253	0.891	1.636	0.921	0.668	1.382	<b>0.483</b>	<b>0.274</b>	NE
snímač 2	0.297	1.011	1.867	0.945	0.648	1.57	<b>0.412</b>	<b>0.274</b>	NE
snímač 3	0.241	0.813	1.505	0.846	0.604	1.264	<b>0.478</b>	<b>0.274</b>	NE
snímač 6	-0.085	-0.333	-0.521	-0.27	-0.185	-0.436	<b>0.425</b>	<b>0.274</b>	NE
snímač 7	-0.098	-0.364	-0.568	-0.28	-0.182	-0.471	<b>0.387</b>	<b>0.274</b>	NE
snímač 8	-0.076	-0.311	-0.497	-0.247	-0.17	-0.42	<b>0.405</b>	<b>0.274</b>	NE

Z provedené zatěžovací zkoušky sestavy A lze vypožorovat nesoulad z hlediska vyhodnocení součinitele  $\lambda_1$ . Z provedené zatěžovací zkoušky lze vyslovit, že v případě postupu vyhodnocení dle kritérií uvedených ve vzorcích, je provedená zatěžovací zkouška nevyhovující.

## Stropní deska v sestavě A, opakovaná zkouška

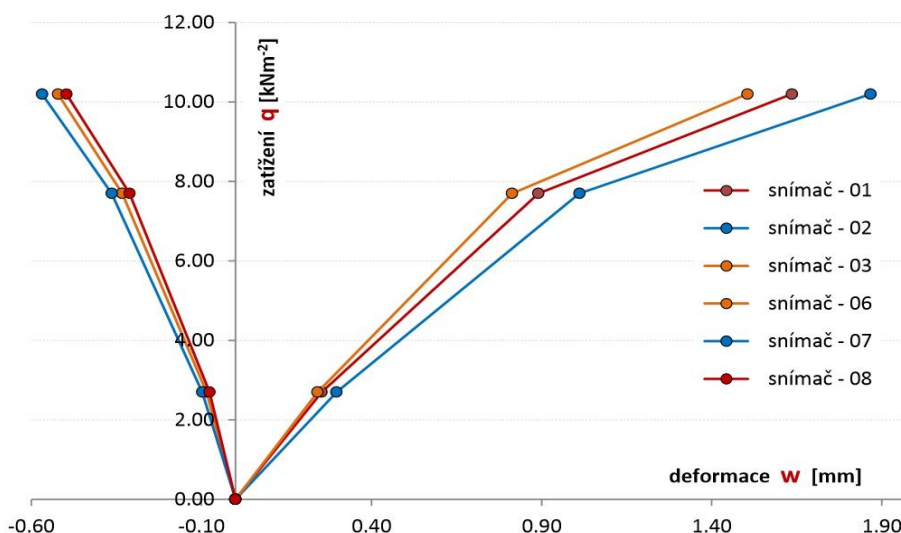
V průběhu opakované zatěžovací zkoušky stropní desky nebyly zaznamenány trhliny při postupném zatížení. Celkové hodnoty naměřených deformací se pohybují v hodnotách do 2 mm, což je hodnota výrazně nižší nežli 1/600 světlého rozpětí zkoušeného prvku v kratším rozponu. <sup>[10]</sup>

Tab. 8.2 Vyhodnocení zatěžovacích zkoušek stropní desky v sestavě A, opakovaná zkouška <sup>[10]</sup>

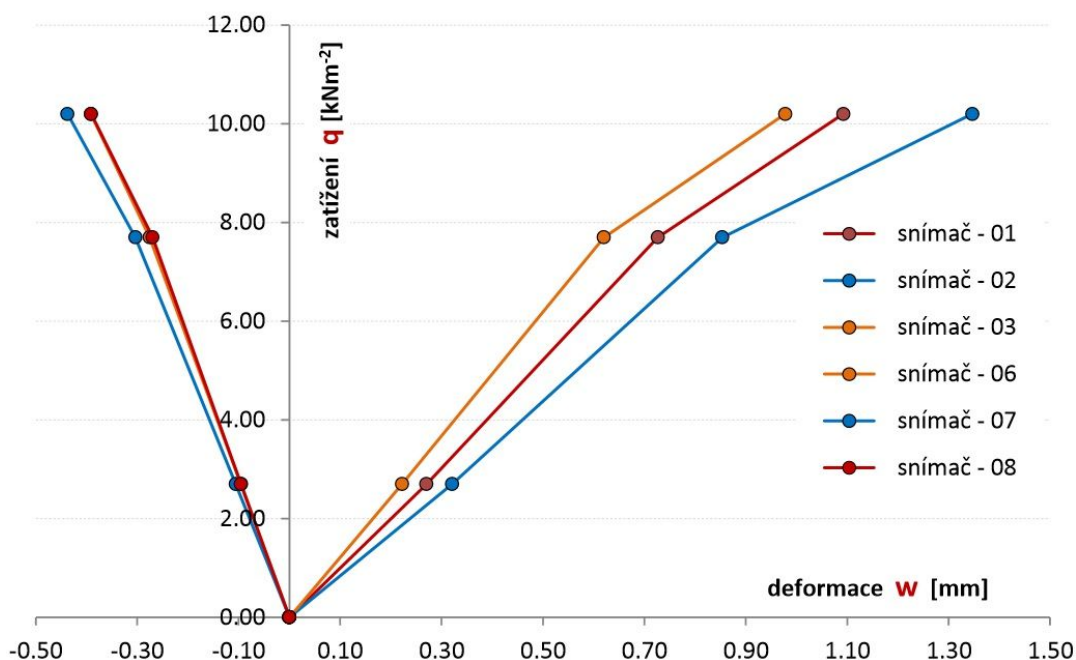
popis měřeného místa	deformace prvku						vyhodnocení		
	ZATÍŽENÍ	ZATÍŽENÍ	ZATÍŽENÍ	ODTÍŽENÍ			poměr trvalé a celkové deformace	součinitel $\lambda_1$	hodnocení (kritérium)
	stálé	nahodilé provozní	nahodilé extrémní	stálé	trvalá deformace	celková deformace			
					$S_r$	$S_{tot}$	$S_r / S_{tot}$	$\lambda_1$	$S_r / S_{tot} < \lambda_1$
	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[-]	[-]	[-]
snímač 1	0.27	0.727	1.092	0.361	0.091	0.822	<b>0.111</b>	<b>0.137</b>	ANO
snímač 2	0.321	0.854	1.347	0.422	0.101	1.026	<b>0.098</b>	<b>0.137</b>	ANO
snímač 3	0.222	0.62	0.978	0.303	0.081	0.756	<b>0.107</b>	<b>0.137</b>	ANO
snímač 6	-0.095	-0.275	-0.391	0.303	-0.036	-0.296	<b>0.121</b>	<b>0.137</b>	ANO
snímač 7	-0.106	-0.304	-0.438	-0.142	-0.036	-0.332	<b>0.109</b>	<b>0.137</b>	ANO
snímač 8	-0.096	-0.27	-0.391	-0.128	-0.036	-0.295	<b>0.11</b>	<b>0.137</b>	ANO

Z provedené opakované zatěžovací zkoušky sestavy A lze vypočítat velmi významné snížení hodnot celkové deformace. Poměr trvalé a celkové deformace byl při opakované zatěžovací zkoušce v maximální hodnotě 11,1 %, přičemž zpřísněné kritérium dovolovalo hodnotu 13,7 %. V průběhu provádění zatěžovací zkoušky nebyly zjištěny žádné trhliny, popř. deformace v uložení. <sup>[10]</sup>

## 8.7 POROVNÁNÍ NAMĚŘENÝCH DEFORMACÍ



Graf. 8.1: Deformace zaznamenaná v průběhu 1. zatěžovací zkoušky sestavy A <sup>[10]</sup>



Graf. 8.1: Deformace zaznamenaná v průběhu opakované zatěžovací zkoušky sestavy A <sup>[10]</sup>

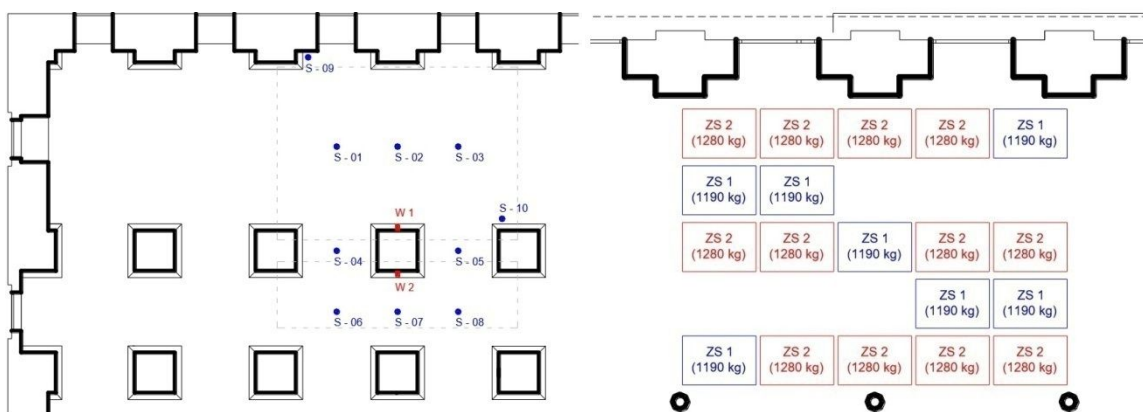
## 8.8 ZÁVĚRY, OBECNÁ DOPORUČENÍ, PODMÍNKY PLATNOSTI ZATĚŽOVACÍCH ZKOUŠEK

a) V průběhu provádění zatěžovacích zkoušek nebyly zjištěny žádné skutečnosti negativně ovlivňující výsledné hodnocení zkoušek stran povrchu zkoušené konstrukce (trhliny ve zdivu, trhliny v betonové desce).

b) Z komplexního hlediska lze provedené zatěžovací zkoušky předmětných nosných konstrukcí hodnotit jako vyhovující pro dané intenzity stálých a užitných zatížení.

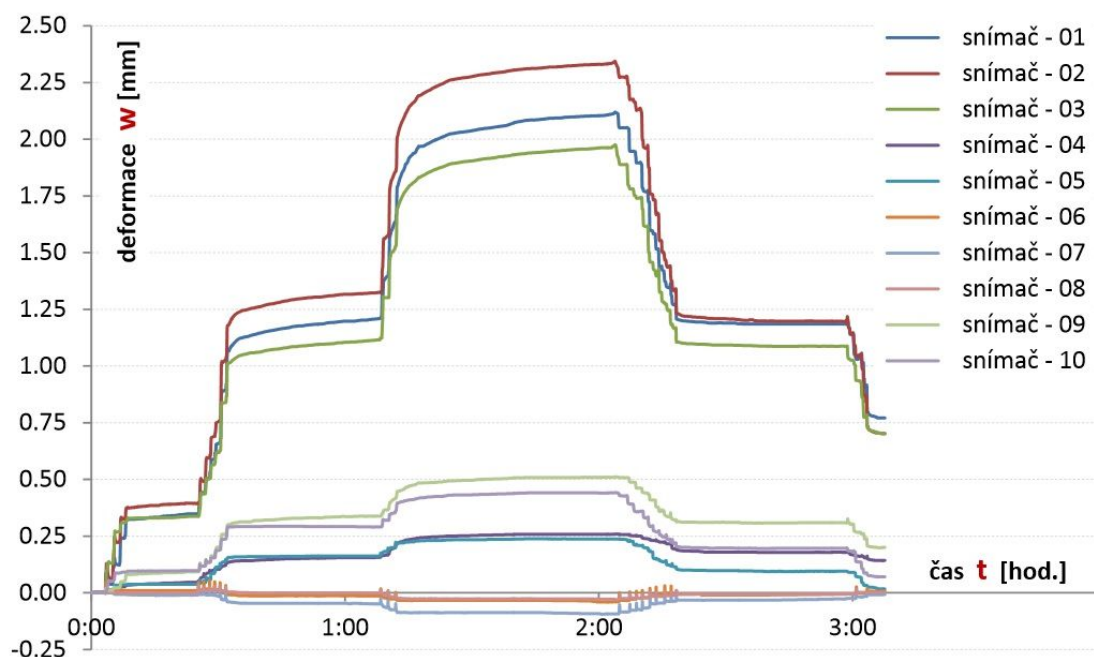
c) Doporučuje se provést nutné sanační úpravy povrchu betonu.

d) Veškeré stavební úpravy nosné stropní konstrukce, popř. zásahy do ní (prostupy, otvory atd.), bezpodmínečně konzultovat se statikem. <sup>[10]</sup>

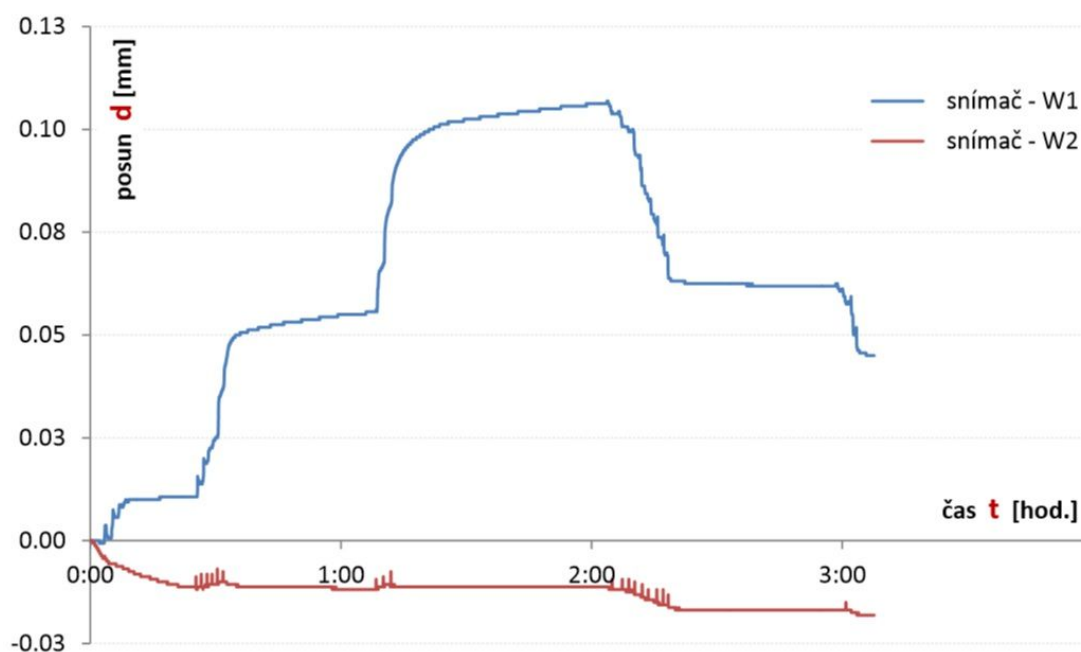


Obr. 8.1: Umístění zatěžovacích sestav (vlevo), rozmístění stálého a provozního zatížení v (vpravo) <sup>[10]</sup>

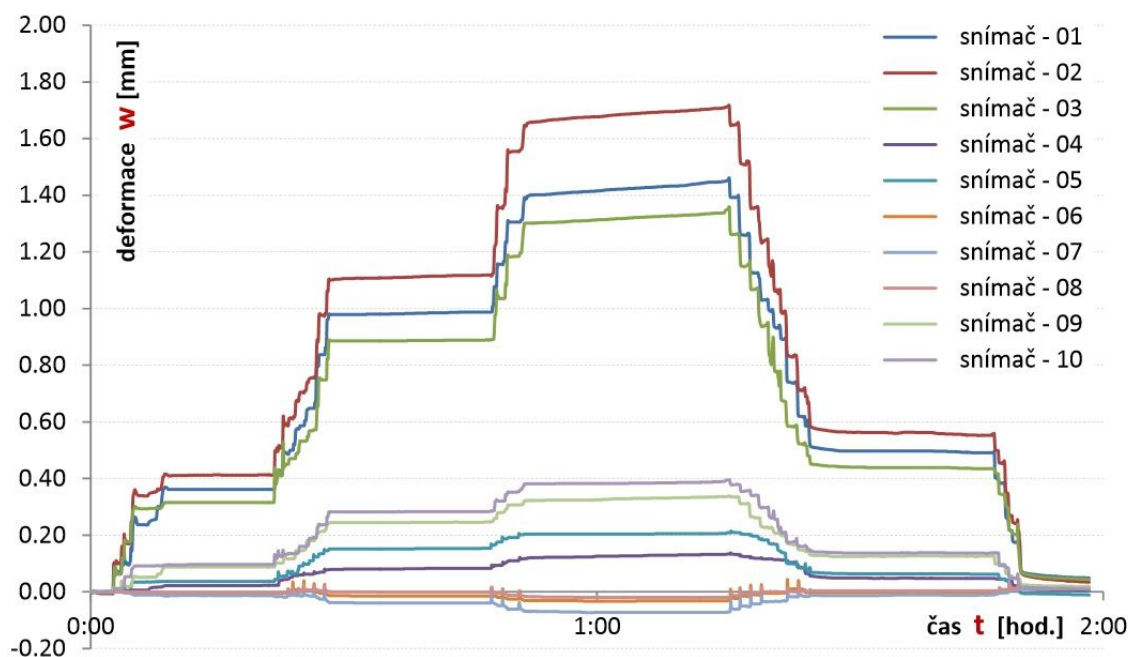
## 8.9 VÝSTUPY ZE ZATĚŽOVACÍCH ZKOUŠEK (ZZ 01, ZZ 02)



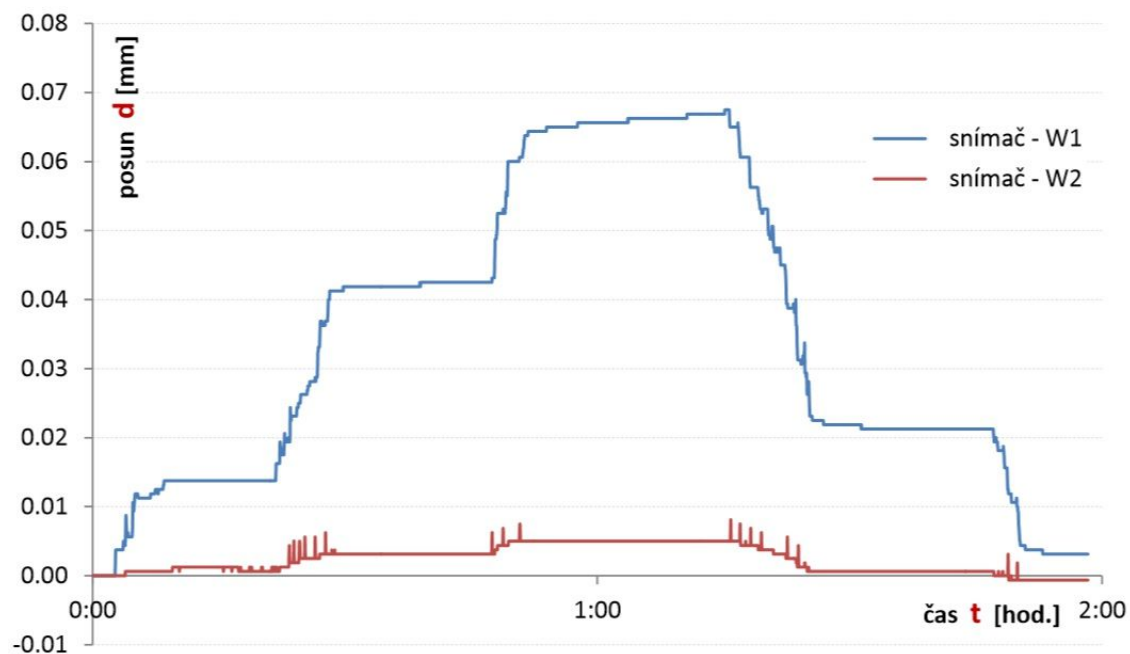
Graf. 8.2: Průběh záznamu deformací ZZ 01 v čase<sup>[10]</sup>



Graf. 8.3: Průběh záznamu snímání deformací středového pilíře ZZ 01 v čase<sup>[10]</sup>



Graf. 8.4: Průběh záznamu deformací ZZ 02 v čase<sup>[10]</sup>



Graf. 8.5: Průběh záznamu snímání deformací středového pilíře ZZ 02 v čase<sup>[10]</sup>



## 8.10 FOTODOKUMENTACE



*Obr. 8.2: Stálé zatížení dle zatěžovací rozbahy - pole A (vlevo), stálé + nahodilé zatížení, pole A (vpravo) <sup>[10]</sup>*



*Obr. 8.3: Vybrané detaily stropní konstrukce ze spodního líce (prorýsovaná betonářská výztuž) <sup>[10]</sup>*



*Obr. 8.4: Měřicí ústředna HBM Spider 8, pohledy na připojené snímače deformací MS 04 s citlivostí měření 0,001 mm <sup>[10]</sup>*



## 9 PŘÍKLAD ZATĚŽOVACÍ ZKOUŠKY PO PROVEDENÍ SANAČNÍCH PRACÍ

### 9.1 ÚVOD

Jedná se o kontrolní zatěžovací zkoušky sanovaného hlubinného zásobníku v teplárně Vítkovice.

Cílem zatěžovacích zkoušek je prokázat spolehlivost a únosnost konstrukce po provedených sanačních pracích, kdy došlo ke statickému zajištění původních konstrukcí zásobníku vynesemím nové ocelové podpůrné konstrukce. <sup>[10]</sup>

### 9.2 PŘEDMĚT A POPIS SLEDOVANÉ KONSTRUKCE

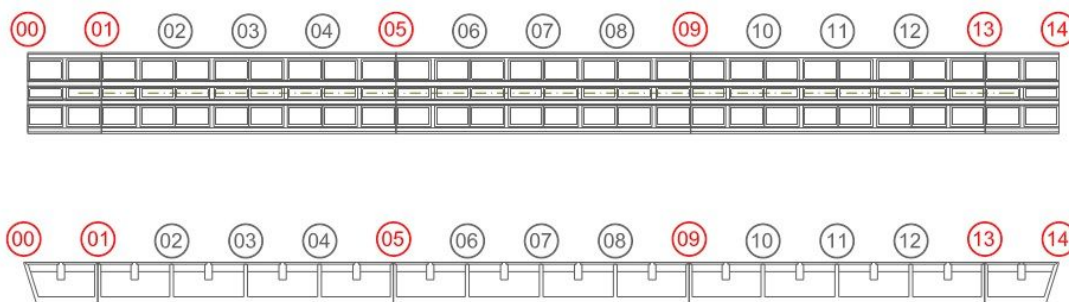
Předmětem předkládané závěrečné zprávy je provedení a vyhodnocení statických zatěžovacích zkoušek sanovaného hlubinného zásobníku v teplárně Vítkovice.

Cílem zatěžovacích zkoušek je prokázání spolehlivosti a únosnosti části staticky zajišťované konstrukce pro předpokládané zatížení předmětného zásobníku na uhlí vznikající budoucím provozováním.

Jedná se o železobetonovou monolitickou konstrukci. Konstrukce se skládá celkem z 5 dilatačních celků (viz obr. 9.1), z nichž krajní dilatační celky jsou tvořeny samostatnými kóji a vnitřní celky jsou spojitě nosníky probíhající přes 4 kóje.

V rámci sanačních prací bylo statické zajištění konstrukce provedeno vynesemím ocelové podpůrné konstrukce pod podélnými spojitými železobetonovými nosníky a pod příčnickami uprostřed jednotlivých kójí.

Okrajové podmínky nového zajištění byly vytvořeny vysekáním, popř. odvrtáním, nových kapes do původních betonových stěn. Celý povrch konstrukce byl po provedení statického zajištění opatřen sanační povrchovou úpravou. <sup>[10]</sup>



Obr. 9.1: Jednoduchý půdorys a příčný řez zásobníku na uhlí <sup>[10]</sup>

### 9.3 METODIKA PROVÁDĚNÍ ZATĚŽOVACÍCH ZKOUŠEK

Provedení zatěžovací zkoušky, zatěžovací postup a vyhodnocení zkoušky je stejné jako - viz kap. 7.4. Hodnota součinitele  $\lambda_1$  bude rovna nejnižší možné hodnotě 0,2.

### 9.4 MĚŘENÍ DEFORMACÍ A POSUNŮ PŘI ZATĚŽOVACÍCH ZKOUŠKÁCH

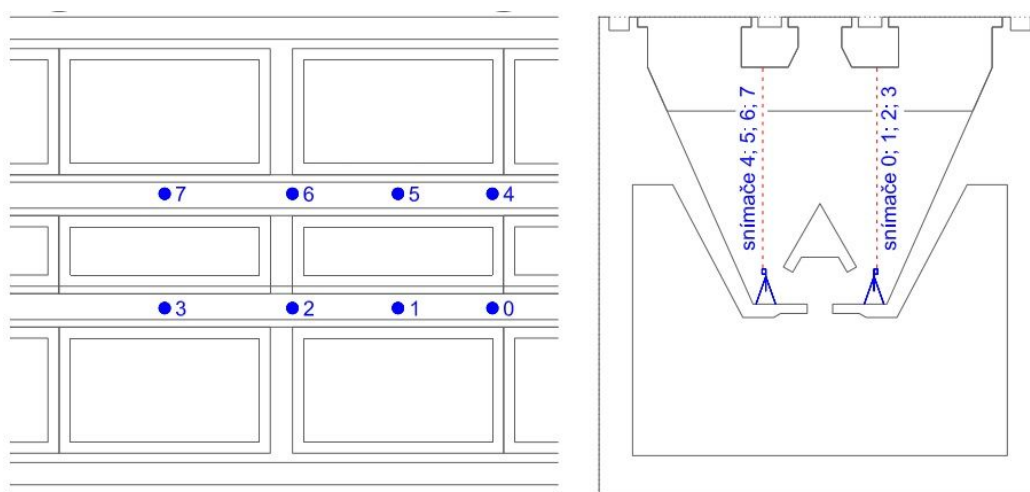
Pro měření deformací při zatěžovací zkoušce je využita měřicí ústředna HBM Spider 8 s celkem osmi měřícími kanály. Pro měření svislých deformací jsou použity potenciometrické snímače dráhy MS.04.

Pro monitoring vodorovného posunu (pohybu) ve svislých trhlinách na vnějším povrchu šikmých stěn zásobníku je použit indukčnostní snímač dráhy HBM TT1 osazený do Hollanova můstku.

V rámci prováděných zatěžovacích zkoušek byly zvoleny 2 varianty měření, které zohledňují kromě snímání svislých deformací, také měření rozevírání (zavírání) trhlin na vnějším šikmém plášti zásobníku. <sup>[10]</sup>

#### ***Varianta A***

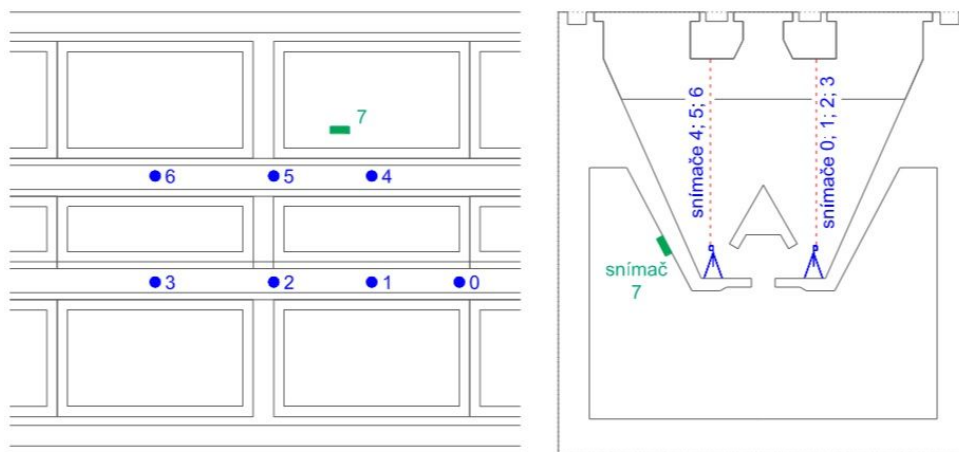
Ve variantě A není uvažováno měření rozevírání ve svislých trhlinách na vnějším povrchu šikmých stěn zásobníku. Tato varianta měření byla použita ve dvou případech, a to v zatěžovacím stavu ZS 1 a ZS 4.



Obr. 9.2: Rozmístění snímačů dráhy (potenciometrů) ve variantě A <sup>[10]</sup>

#### ***Varianta B***

Ve variantě B je, včetně měření deformací od zátěže, uvažováno měření posunu ve svislých trhlinách na vnějším povrchu šikmých stěn zásobníku. Tato varianta měření byla použita ve dvou případech, a to v zatěžovacím stavu ZS2 a ZS3.



Obr. 9.3: Rozmístění snímačů dráhy (potenciometrů) ve variantě B <sup>[10]</sup>

## 9.5 POUŽITÉ ZATÍŽENÍ A ZPŮSOB ZATĚŽOVÁNÍ

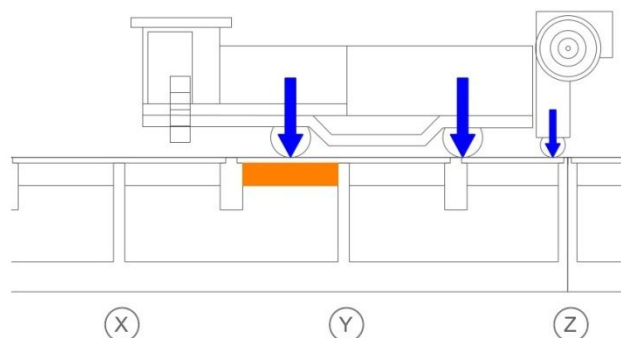
Pro zatížení předmětné konstrukce byl využit drážní elektrovoz s kabelovým vozíkem o následujících parametrech:

Tab. 9.1 Určující parametry zátěže pro provedení zatěžovací zkoušky

Celková hmotnost vozu	83 tun
Nápravový tlak	406,9 kN
Osová vzdálenost náprav vozu	4600 mm
Hmotnost kabelového vozu	5 tun
Osová vzdálenost nápravy kabelového vozu od zadní nápravy elektrovozu	2400 mm

V rámci každé zatěžovací sestavy byl proveden, po vystrojení konstrukce snímači, měřený přejezd elektrovozu, přičemž z průběžného měření deformací při přejezdu byly ověřeny teoretické polohy zatížení od náprav vozu.

V rámci prováděných zatěžovacích zkoušek byly stanoveny tři základní polohy měřených zatěžovacích stavů. Poloha elektrovozu v jednom ze zatěžovacích stavů je znázorněna na následujícím schématu zatížení (obr. 9.4). <sup>[10]</sup>



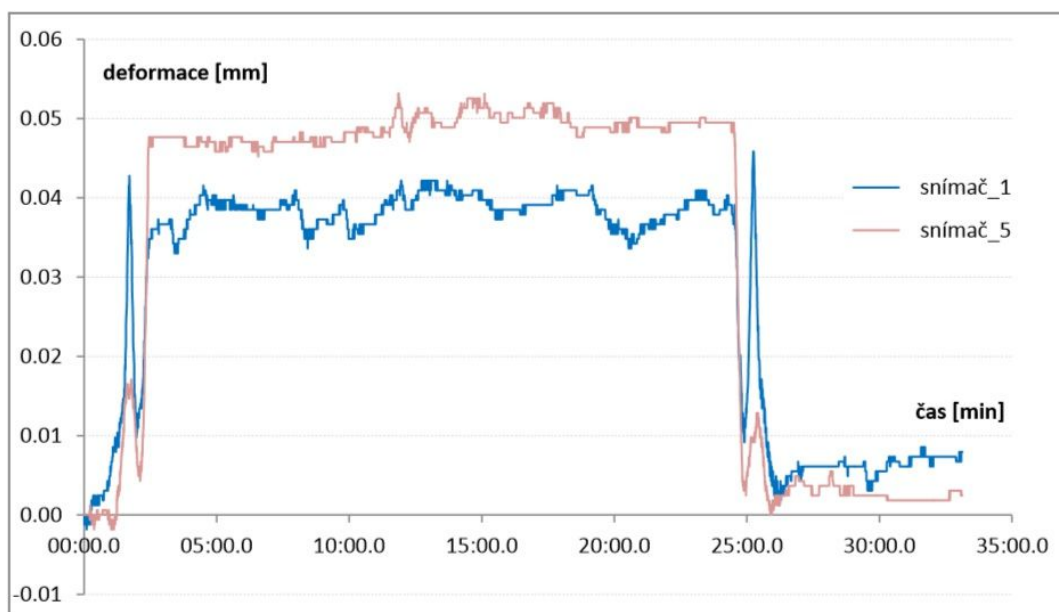
Obr. 9.4: Poloha elektrovozu při zatěžovací zkoušce, extrémní deformace v pravé části nosníku <sup>[10]</sup>

## 9.6 VYHODNOCENÍ ZATĚŽOVACÍCH ZKOUŠEK

Zatěžování probíhalo v několika sériích S.01 - S.04 v zatěžovacích stavech ZS 1 - ZS 15 na různých místech konstrukce.

### Vyhodnocení ZS. 13 v sérii S.04

Zatěžovací zkoušky konstrukce v sérii s označením S.04 byly provedeny v krajní kóji mezi dělicími stěnami 0 - 1 ve variantě měření A. V rámci série byly provedeny celkem 4 zatěžovací stavy, z nichž vyhodnoceny jsou ZS.13, ZS.14 a ZS.15. <sup>[10]</sup>



Graf. 9.1: Zatěžovací zkouška ZS.13 v kóji mezi dělicími stěnami 0 – 1 pro kritickou deformaci <sup>[10]</sup>

Tab. 9.2 Vyhodnocení deformací a následné tabelární zpracování zatěžovacího stavu ZS.13 <sup>[10]</sup>

popis měřeného místa	deformace prvku					vyhodnocení		
	ZATÍŽENÍ	ZATÍŽENÍ	ODTÍŽENÍ	trvalá deformace	celková deformace	poměr trvalé a celkové deformace	součinitel $I_1$	hodnocení (kritérium)
	0	max.	0	$S_r$	$S_{tot}$	$S_r / S_{tot}$	$I_1$	$S_r / S_{tot} < I_1$
	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[-]	[-]	[-]
snímač 1	0.000	0.026	0.003	0.003	0.026	0.115	0.200	VYHOVUJE
snímač 5	0.000	0.048	0.006	0.006	0.048	0.125	0.200	VYHOVUJE

## 9.7 MĚŘENÍ VODOROVNÉHO POSUNU VE SVISLÝCH TRHLINÁCH NA VNĚJŠÍM POVRCHU ŠIKMÝCH STĚN ZÁSOBNÍKU

Měření vodorovného posunu ve svislých trhlinách na vnějším povrchu šikmých stěn zásobníku bylo provedeno v zatěžovacích sériích S.02 a S.03 v následujících zatěžovacích stavech:

S.02 - ZS.06 (zatěžovací zkouška pravého nosníku)

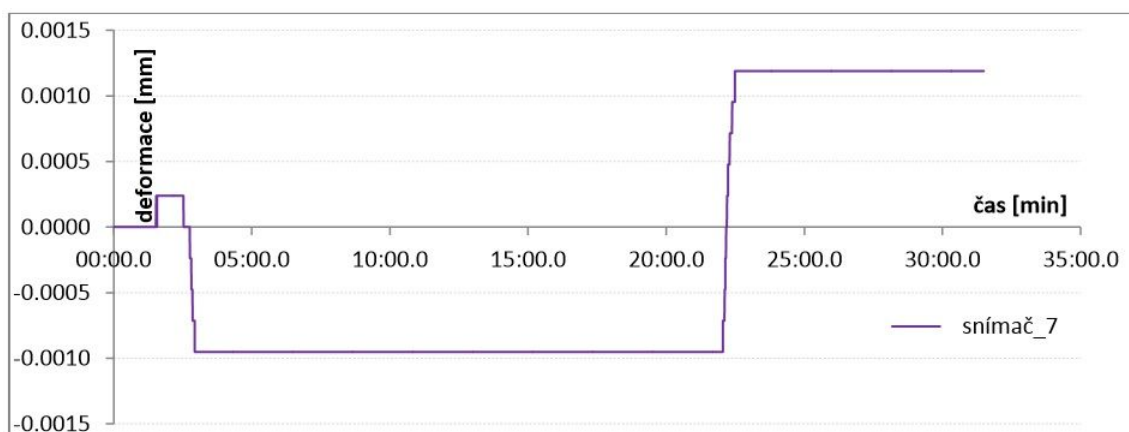
S.02 - ZS.07 (zatěžovací zkoušky středního průvlaku)

S.02 - ZS.08 (zatěžovací zkouška levého nosníku)

S.03 - ZS.10 (zatěžovací zkouška pravého nosníku)

S.03 - ZS.11 (zatěžovací zkouška levého nosníku)

Výstupy z měření ZS.06 jsou uvedeny v následujícím grafu a zaneseny v tabulce 9.3.



**Graf. 9.2: Záznam měření posunu ve svislé trhlině na vnějším povrchu zásobníku při zatěžovacím stavu ZS.06 <sup>[10]</sup>**

**Tab. 9.3 Maximální naměřené hodnoty rozevření, popř. zavření ve svislé trhlině <sup>[10]</sup>**

Série, zatěžovací stav	Maximální hodnota rozevření v trhlině [mm]	Maximální hodnota zavření v trhlině [mm]
S.02 - ZS.06_PN	0.0009	0.0012
S.02 - ZS.07_SP	0.0012	0.0009
S.02 - ZS.08_LN	0.0015	0.0007
S.03 - ZS.10_PN	0.0014	0.0002
S.03 - ZS.11_LN	0.0007	0.0007

**Tab. 9.4 Souhrnné vyhodnocení provedených zatěžovacích zkoušek z hlediska svislých deformací <sup>[10]</sup>**

popis měřeného místa			deformace prvku					vyhodnocení		
			ZATÍŽENÍ 0	ZATÍŽENÍ max	ODTÍŽENÍ 0	trvalá deformace	celková deformace	poměr trvalé a celkové deformace	součinitel I <sub>1</sub>	hodnocení (kritérium)
zatěž. série	zatěž. stav	hodnocený snímač				S <sub>r</sub>	S <sub>tot</sub>	S <sub>r</sub> / S <sub>tot</sub>	I <sub>1</sub>	S <sub>r</sub> / S <sub>tot</sub> < I <sub>1</sub>
			[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[-]	[-]	[-]
S.01	ZS.03	snímač 1	0.000	0.026	0.003	0.003	0.026	<b>0.115</b>	<b>0.200</b>	VYHOVUJE
		snímač 5	0.000	0.048	0.006	0.006	0.048	<b>0.125</b>	<b>0.200</b>	VYHOVUJE
	ZS.04	snímač 3	0.000	0.045	0.004	0.004	0.045	0.004	<b>0.200</b>	VYHOVUJE
		snímač 7	0.000	0.082	0.009	0.009	0.082	<b>0.110</b>	<b>0.200</b>	VYHOVUJE
S.02	ZS.06	snímač 1	0.000	0.031	0.004	0.004	0.031	<b>0.129</b>	<b>0.200</b>	VYHOVUJE
		snímač 4	0.000	0.039	0.004	0.004	0.039	<b>0.103</b>	<b>0.200</b>	VYHOVUJE
	ZS.07	snímač 2	0.000	0.052	0.000	0.000	0.052	<b>0.000</b>	<b>0.200</b>	VYHOVUJE
		snímač 5	0.000	0.054	0.000	0.000	0.054	<b>0.000</b>	<b>0.200</b>	VYHOVUJE
	ZS.08	snímač 3	0.000	0.054	0.005	0.005	0.054	<b>0.093</b>	<b>0.200</b>	VYHOVUJE
		snímač 6	0.000	0.082	0.010	0.010	0.082	<b>0.122</b>	<b>0.200</b>	VYHOVUJE
S.03	ZS.10	snímač 1	0.000	0.033	0.004	0.004	0.033	<b>0.121</b>	<b>0.200</b>	VYHOVUJE
		snímač 4	0.000	0.053	0.004	0.004	0.053	<b>0.075</b>	<b>0.200</b>	VYHOVUJE
	ZS.11	snímač 3	0.000	0.076	0.004	0.004	0.076	<b>0.053</b>	<b>0.200</b>	VYHOVUJE
		snímač 6	0.000	0.085	0.007	0.007	0.085	<b>0.082</b>	<b>0.200</b>	VYHOVUJE
S.04	ZS.13	snímač 1	0.000	0.041	0.006	0.006	0.041	<b>0.146</b>	<b>0.200</b>	VYHOVUJE
		snímač 5	0.000	0.051	0.005	0.005	0.051	<b>0.098</b>	<b>0.200</b>	VYHOVUJE
	ZS.14	snímač 2	0.000	0.038	0.000	0.000	0.038	<b>0.000</b>	<b>0.200</b>	VYHOVUJE
		snímač 6	0.000	0.065	0.000	0.000	0.065	<b>0.000</b>	<b>0.200</b>	VYHOVUJE
	ZS.15	snímač 3	0.000	0.038	0.000	0.000	0.038	<b>0.000</b>	<b>0.200</b>	VYHOVUJE
		snímač 7	0.000	0.062	0.000	0.000	0.062	<b>0.000</b>	<b>0.200</b>	VYHOVUJE

## 9.8 ZÁVĚRY

Na základě provedených zatěžovacích zkoušek sanovaného hlubinného zásobníku a měření vodorovného posunu ve svislých trhlinách na vnějším povrchu šikmých stěn zásobníku lze vyslovit následující poznatky a závěry:

a) Z globálního hlediska se jedná o tuhou železobetonovou konstrukci velmi dobře z hlediska deformací odolávající účinkům od deformací.

b) Hodnoty maximálních naměřených deformací nepřekračují 0,12 mm.

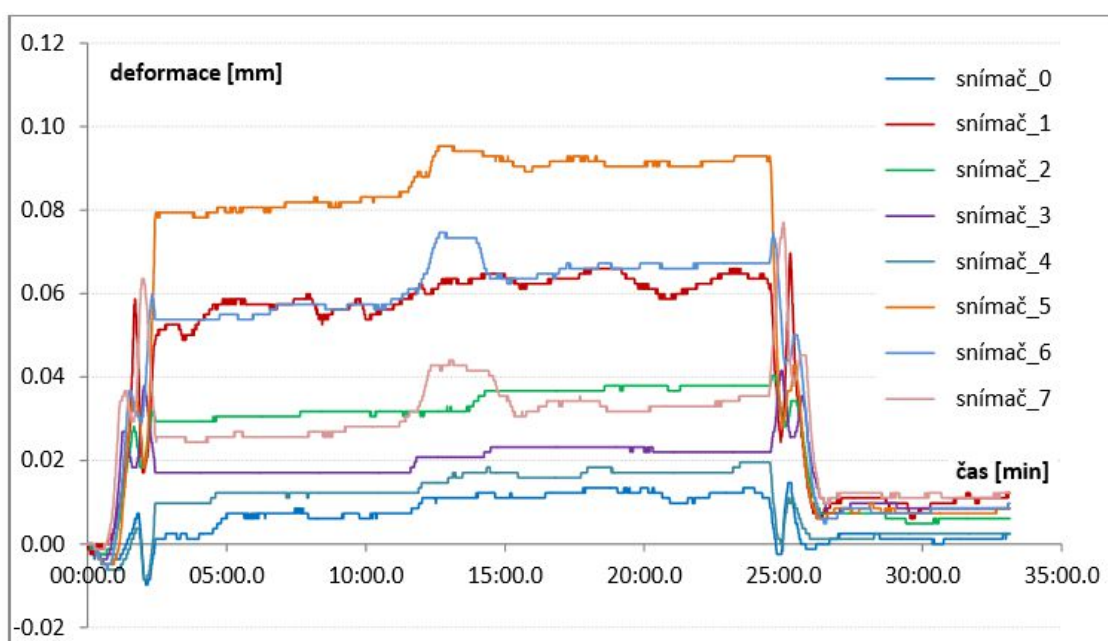
c) Konstrukce je z hlediska vyhodnoceného poměru trvalé k celkové deformaci ve výborném stavu, kdy lze prohlásit, že v konstrukci na danou intenzitu zatížení prakticky nedochází k nevratným deformacím.

d) Při měření rozevírání či zavírání svislých trhlin na vnějším povrchu šikmých stěn zásobníku byly naměřeny hodnoty v řádu 0,001 mm, které lze z hlediska ovlivnění bezpečnosti či statické funkce objektu považovat za bezvýznamné. <sup>[10]</sup>



e) V průběhu provádění zatěžovacích zkoušek nebyly zjištěny žádné skutečnosti negativně ovlivňující výsledné hodnocení zatěžovacích zkoušek (vznik nových trhlin, výrazné rozšíření trhlin stávajících, apod.).

Na základě všech provedených zatěžovacích stavů zatěžovacích zkoušek sanovaného hlubinného zásobníku v teplárně Vítkovice lze dané zatěžovací zkoušky předmětných nosných konstrukcí hodnotit jako vyhovující z hlediska únosnosti a spolehlivosti pro další bezpečné užívání konstrukce. <sup>[10]</sup>



*Graf. 9.3: Zatěžovací série S.04 - varianta vystrojení měření A - zatěžovací stav ZS.13 - naměřené hodnoty ze snímačů deformací <sup>[10]</sup>*

## 9.9 FOTODOKUMENTACE



*Obr. 9.5: Nosná konstrukce zásobníku (vlevo), Elektrovůz o hmotnosti 83 tun a tlaku 406,9 kN (vpravo) <sup>[10]</sup>*



**Obr. 9.6 Střední příčný zásobník (vlevo), stojánek s potenciometrickým snímačem dráhy vpravo) <sup>[10]</sup>**



**Obr. 9.7 Indukční snímač dráhy TT 1 mm (vlevo), náprava elektrovozu na pravém nosníku (vpravo)**  
<sup>[10]</sup>



## 10 ZÁVĚR

Výsledkem této bakalářské práce je shromáždění veškerých dostupných informací o problematice zatěžovacích zkoušek stavebních konstrukcí a mostů. Práce zahrnuje obecný postup, využití a vyhodnocení zatěžovacích zkoušek.

Je zde podrobně rozebrán způsob měření, včetně popisu samotných měřících přístrojů. V práci je také popsán způsob zatěžování při různých typech zatěžovacích zkoušek. Každý pojem a termín je opatřen stručnou definicí a případně doplněn vhodným obrázkem. Přehledná úprava zaručuje snadnou orientaci. Základem pro zpracování se staly normy ČSN, které bylo nutné doplnit o aktuální informace.

V další, praktické části, jsou rozebrány různé typy zatěžovacích zkoušek.

První z nich jsou zkoušky stávající železobetonové monolitické skeletové stropní konstrukce. Jedná se o provedení a vyhodnocení dílčích zatěžovacích zkoušek vodorovných nosných prvků konstrukce. Ve stropní desce nejsou patrné výraznější poruchy, které by mohly mít velký vliv na statiku konstrukce. Jsou patrné pouze drobné trhliny v příčném směru v mezižeberních deskách. Tyto vady jsou způsobené smršťováním betonu a není zapotřebí na konstrukci provádět žádné sanační práce statického charakteru

Dalšími z nich jsou zatěžovací zkoušky v průběhu sanačních prací z důvodu zjištění závažných závad na železobetonové stropní desce. Po odbednění bylo patrné výrazné protlačení výztuže na spodním povrchu desky. Nedostatečné krytí výztuže mohlo být způsobeno nevhodným provedením bednění. Stropní deska byla vyhodnocena jako spolehlivá po opakované zatěžovací zkoušce se sníženou hodnotou součinitele  $\lambda_1$ .

Posledním typem jsou kontrolní zatěžovací zkoušky sanovaného hlubinného zásobníku v teplárně Vítkovice. Jejich cílem bylo prokázat spolehlivost a únosnost konstrukce po provedených sanačních pracích, kdy došlo ke statickému zajištění původních konstrukcí zásobníku vnesením nové ocelové podpůrné konstrukce. Ze zatěžovacích zkoušek vyplývá, že na konstrukci nedochází k žádným nevratným deformacím a lze říci, že je ve výborném stavu a připravena na zatížení potřebné intenzity.

Závěrem lze konstatovat, že se podařilo shrnout oblast zatěžovacích zkoušek konstrukcí a mostů, podařilo se vytvořit jejich ucelenou terminologii, která by mohla pomoci k řešení dalších případných zkoušek konstrukcí.

## POUŽITÁ LITERATURA

- [1] ČSN 73 2030 - *Zatěžovací zkoušky stavebních konstrukcí*. Praha: Český normalizační institut, 1993. 16 s.
- [2] ČSN 73 6209 - *Zatěžovací zkoušky mostů*. Praha: Český normalizační institut, 1995. 20 s.
- [3] ČSN 73 1201 - 86 - *Navrhování betonových konstrukcí*. Praha: Dům techniky ČSVTS, 1988. 181 s.
- [4] EN 1992 - 1 - 1 (eurocód 2) - část 1 - *Navrhování betonových konstrukcí*. Praha: Český normalizační institut, 2006. 210 s.
- [5] ČSN ISO 13822 - *Zásady navrhování - Hodnocení existujících konstrukcí*. Praha: Český normalizační institut, 2005. 72 s.
- [6] ČSN 73 6221 - *Prohlídky mostů pozemních komunikací*. Praha: Český normalizační institut, 2011. 36 s.
- [7] SCHMID, Pavel - *Základy zkušebnictví*, kap.4. Brno: Nakl. CERM, 2000. 112 s.
- [8] ŠTĚRBA, Bohumír - *Bakalářská práce, Zatěžovací zkoušky stavebních konstrukcí*, 2010.
- [9] HEŘMÁNKOVÁ, Věra - *Zkušebnictví a technologie - cvičebnice*. Brno: Nakl. CERM, 2011. 100 s.
- [10] *Materiál poskytnutý Ing. Petrem Žittem*
- [11] <http://www.sometcz.com/obchod/indikatory/ciselnikovy-indikator-112-80x0-1-s-okem>
- [12] <http://www.radekhavlin.cz/nivelacni-pristroj-leica-runner-20-z11.html>
- [13] <http://www.pentaservis.cz/clanky-potenciometr.html>
- [14] <http://www.ekotechnika.cz/tycove-extenzometr?kat=geotechnika-produkty>
- [15] <http://www.asb-portal.cz/stavebnictvi/stavebni-technika/piloty-screwsol-pri-zakladani-staveb>

## SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

$\overline{F}_{\text{exp}}$	experimentálně stanovena mezní síla při porušení [kN]
$F_{\text{vyp}}$	teoreticky stanovená mezní síla při porušení [kN]
$\gamma_{\text{exp}}$	součinitel spolehlivosti
$S_r$	trvalá deformace prvku [mm]
$S_{\text{tot}}$	celková deformace prvku [mm]
$\overline{R}_{\text{exp}}$	výběrový aritmetický průměr zjištěný z experimentálních únosností zkoušek
$s_r$	výběrová směrodatná odchylka
$k_n$	součinitel pro meze konfidenčního intervalu pro odhad průměru
$\overline{D}_{\text{exp}}$	výběrový aritmetický průměr zjištěný z experimentálně zjištěných přetvárných účinků zkoušek
$S_e$	pružné přetvoření
$S_{\text{cal}}$	teoreticky stanovené hodnoty účinků
$\alpha_i, \alpha_i, \beta,$	součinitelé přetvoření
$S_{\text{max}}$	největší hodnota dynamické odezvy
$S_m$	největší hodnota statické odezvy
$\delta_{\text{obs}}$	dynamický součinitel
$l$	je délka struny
$E$	modul pružnosti materiálu struny
$\rho$	měrná hmotnost materiálu struny
$\delta, \varepsilon$	napětí, deformace struny
$l_0$	měrná délka
$s$	příčný průřez drátku
$G_s$	doplňkové stálé zatížení [kN]
$Q_s$	provozní účinné zatížení [kN]
$Q_d$	extrémní účinné zatížení [kN]
$g_s$	doplňkové stálé zatížení [kN/m <sup>2</sup> ]
$q_s$	provozní účinné zatížení [kN/m <sup>2</sup> ]
$q_d$	extrémní účinné [kN/m <sup>2</sup> ]
$N$	zkušební zatížení
$V_s$	normová hodnota svislého nahodilého krátkodobého zatížení
$U_N$	statický účinek od zkušebního zatížení $N$

$U_{Vs}$	statický účinek od normové hodnoty svislého nahodilého zatížení včetně dynamického součinitele $\delta$
$k$	účinnost, která se pro statické zkoušky označuje $k_{stat}$ a pro dynamické zkoušky $k_{dyn}$
$\lambda_1$	součinitel přetvoření

## SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 2.1: Obsah pojmu zkušebnictví ve stavebnictví <sup>[7]</sup> .....	14
Obr. 2.2: Obecné schéma využití metod NDT při zkouškách materiálů konstrukcí <sup>[7]</sup> .....	14
Obr. 3.1: Uspořádání zatěžovací zkoušky ohýbaného betonového vzorku <sup>[7]</sup> .....	18
Obr. 3.2: Uspořádání a měření při statické zatěžovací zkoušce <sup>[7]</sup> .....	19
Obr. 3.3: Základní zatěžovací postup <sup>[1]</sup> .....	22
Obr. 4.1: Základní zatěžovací postup <sup>[2]</sup> .....	32
Obr. 5.1: Schéma tyčového tenzometru (vlevo) a příložného tenzometru <sup>[7]</sup> .....	36
Obr. 5.2: Můstkový tenzometr <sup>[7]</sup> .....	36
Obr. 5.3: Indikátorové hodinky zn. SOMET <sup>[11]</sup> .....	37
Obr. 5.4: Nivelační přístroj Leica RUNNER 20 <sup>[12]</sup> .....	38
Obr. 5.5: Potenciometr <sup>[13]</sup> .....	38
Obr. 5.5: Indukčnostní snímač <sup>[13]</sup> .....	39
Obr. 5.6: Schéma strunového tenzometru <sup>[7]</sup> .....	39
Obr. 5.7: Tyčový extenzometr <sup>[14]</sup> .....	40
Obr. 5.8: Drátkový odporový tenzometr <sup>[7]</sup> .....	40
Obr. 5.9: Mostní průhyboměr METRA- FRIČ <sup>[9]</sup> .....	41
Obr. 6.1: Zatěžování hydraulickým lisem <sup>[15]</sup> .....	43
Obr. 6.2: Zatěžování volným materiálem .....	43
Obr. 6.3: Zatěžování betonový závažím .....	44
Obr. 6.4: Zatěžování nákladním autem .....	45
Obr. 6.5: Umělá nerovnost <sup>[2]</sup> .....	45
Obr. 7.1: Teoretické schéma provádění zatěžovací zkoušky <sup>[10]</sup> .....	48
Obr. 7.2: Zatěžovací zkoušky stropních prvků v objektu S07 <sup>[10]</sup> .....	53
Obr. 7.3: Schéma zatěžovací sestavy stropního průvlnaku se snímači deformací <sup>[10]</sup> .....	54
Obr. 7.4: Pohled na snímače deformací (vlevo), plný stav zatížení 10,1 kNm <sup>-1</sup> (vpravo) ...	56
Obr. 7.5: Přípravné snímače deformací (vlevo), kompletní sestava liniového zatížení 13,20 kNm <sup>-1</sup> (vpravo) <sup>[10]</sup> .....	56
Obr. 7.6: Přípravné snímače deformací (vlevo), celková zatěžovací sestava průvlnaku 20,7 kNm <sup>-1</sup> (vpravo) <sup>[10]</sup> .....	56
Obr. 8.1: Umístění zatěžovacích sestav (vlevo), rozmístění stálého a provozního zatížení v sestavě (vpravo) <sup>[10]</sup> .....	61
Obr. 8.2: Stálé zatížení dle zatěžovací rozvahy - pole A (vlevo), stálé + nahodilé zatížení, pole A (vpravo) <sup>[10]</sup> .....	64
Obr. 8.3: Vybrané detaily stropní konstrukce ze spodního líce (prorýsovaná betonářská výztuž) <sup>[10]</sup> .....	64
Obr. 8.4: Měřicí ústředna HBM Spider 8, pohledy na připojené snímače deformací MS 04 s citlivostí měření 0,001 mm <sup>[10]</sup> .....	64
Obr. 9.1: Jednoduchý půdorys a příčný řez zásobníku na uhlí <sup>[10]</sup> .....	65
Obr. 9.2: Rozmístění snímačů dráhy (potenciometrů) ve variantě A <sup>[10]</sup> .....	66
Obr. 9.3: Rozmístění snímačů dráhy (potenciometrů) ve variantě B <sup>[10]</sup> .....	67

Obr. 9.4: Poloha elektrovozu při zatěžovací zkoušce vyvolující extrémní deformaci v pravé části nosníku <sup>[10]</sup> .....	67
Obr. 9.5: Nosná konstrukce zásobníku (vlevo), Elektrovůz o hmotnosti 83 tun a tlaku 406,9 kN (vpravo) <sup>[10]</sup> .....	71
Obr. 9.6 Střední příčník zásobníku (vlevo), stojánek s potenciometrickým snímačem dráhy (vpravo) <sup>[10]</sup> .....	72
Obr. 9.7 Indukčnostní snímač dráhy TT 1 mm (vlevo), náprava elektrovozu na pravém nosníku (vpravo) <sup>[10]</sup> .....	72

## SEZNAM GRAFŮ

Graf. 7.1: Záznam sledovaných hodnot deformací v průběhu zatěžování průvlaku P1 <sup>[10]</sup>	55
Graf. 7.2: Hodnoty deformací stropního průvlaku P1 po odečtení poklesu v podporách....	55
Graf. 8.2: Průběh záznamu deformací ZZ 01 v čase <sup>[10]</sup>	62
Graf. 8.3: Průběh záznamu snímání deformací středového pilíře ZZ 01 v čase <sup>[10]</sup>	62
Graf. 8.4: Průběh záznamu deformací ZZ 02 v čase <sup>[10]</sup>	63
Graf. 8.5: Průběh záznamu snímání deformací středového pilíře ZZ 02 v čase <sup>[10]</sup>	63
Graf. 9.1: Zatěžovací zkouška ZS.13 v kóji mezi dělicími stěnami 0 – 1 pro kritickou ..... deformaci <sup>[10]</sup>	68
Graf. 9.2: Záznam měření posunu ve svislé trhlině na vnějším povrchu zásobníku při zatěžovacím stavu ZS.06 <sup>[10]</sup>	69
Graf. 9.3: Zatěžovací série S.04 - varianta vystrojení měření A - zatěžovací stav ZS.13 - naměřené hodnoty ze snímačů deformací <sup>[10]</sup>	71

## SEZNAM TABULEK

Tab. 3.1 Hodnoty součinitele spolehlivosti $\gamma_{\text{exp}}$ <sup>[1]</sup>	23
Tab. 3.2 Hodnoty součinitele $k_n$ <sup>[1]</sup>	25
Tab. 4.1 Hodnoty součinitelů $\alpha_1, \alpha_i, \beta$ <sup>[2]</sup>	34
Tab. 4.2 Mezní šířka trhlin <sup>[2]</sup>	34
Tab. 7.1 Vyhodnocení zatěžovacích zkoušek stropních průvlaků <sup>[10]</sup>	51
Tab. 7.2 Sestava zatížení pro provedení zkoušek stropních průvlaků <sup>[10]</sup>	54
Tab. 8.1 Vyhodnocení zatěžovacích zkoušek stropní desky v sestavě A <sup>[10]</sup>	59
Tab. 8.2 Vyhodnocení zatěžovacích zkoušek stropní desky v sestavě A, opakovaná zkouška <sup>[10]</sup>	60
Tab. 9.1 Určující parametry zátěže pro provedení zatěžovací zkoušky <sup>[10]</sup>	67
Tab. 9.2 Vyhodnocení deformací a následné zpracování zatěžovacího stavu ZS.13 <sup>[10]</sup>	68
Tab. 9.3 Maximální naměřené hodnoty rozevření, popř. zavření ve svislé trhlině <sup>[10]</sup>	69
Tab. 9.4 Souhrnné vyhodnocení provedených zatěžovacích zkoušek z hlediska svislých deformací <sup>[10]</sup>	70